

Sommario

INDICE DELLE FIGURE	3
INDICE DELLE TABELLE	3
1. PREMESSA.....	4
1.1. IMPIANTO IDRICO ANTINCENDIO	4
1.2. IMPIANTO DI VENTILAZIONE FILTRO E CUNICOLO DI SICUREZZA.....	4
1.3. IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE DI GALLERIA.....	5
2. NORMATIVA.....	5
IGIENE E SICUREZZA NEI LUOGHI DI LAVORO	5
SICUREZZA DEGLI IMPIANTI.....	5
IMPIANTO IDRICO ANTINCENDIO	6
IMPIANTO VENTILAZIONE	7
3. IMPIANTO IDRICO ANTINCENDIO.....	8
3.1. DIMENSIONAMENTO.....	9
3.1.1. Dimensionamento della rete idrica.....	10
3.1.1.1 Calcolo delle perdite di carico distribuite	10
3.1.1.2 Calcolo delle perdite di carico concentrate.....	11
3.1.1.3 Pressioni all'idrante	12
3.1.1.4 Condizioni di esercizio.....	12
3.1.1.5 Dimensionamento del gruppo di pompaggio	12
3.1.1.6 Calcolo sovrappressione per colpo d'ariete.....	15
3.1.2. Dimensionamento della riserva idrica	16
3.2. LOCALE DI POMPAGGIO	17
4. IMPIANTO DI VENTILAZIONE FILTRO E CUNICOLO DI SICUREZZA.....	19
4.1. DIMENSIONAMENTO.....	21
4.1.1. Esercizio normale – ventilazione sanitaria	22
4.1.2. Esercizio normale – condizione di preallarme	23

4.1.3. Condizione di emergenza – evento incendio in galleria.....	23
4.1.3.1 Fase di spegnimento VVF – calcolo della portata d'aria a porte aperte.....	24
4.1.3.2 Fase di evacuazione – calcolo della portata d'aria a porte aperte.....	24
4.1.3.3 Fase di emergenza – calcolo della portata d'aria a porte chiuse.....	25
4.1.3.4 Calcolo della prevalenza dei ventilatori.....	26
4.1.4. Risultati del dimensionamento dei ventilatori.....	30
5. IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE GALLERIA.....	32
5.1. DIMENSIONAMENTO.....	32
5.1.1. Ventilazione sanitaria – condizioni di esercizio.....	34
5.1.1.1 Condizioni di traffico ipotizzate.....	34
5.1.1.2 Valori limite di concentrazione degli inquinanti.....	34
5.1.1.3 Composizione del parco veicoli.....	34
5.1.1.4 Calcolo delle emissioni e delle portate di aria per la ventilazione sanitaria.....	35
5.1.1.5 Calcolo delle perdite di carico.....	36
5.1.2. Ventilazione in caso di incendio – condizione di emergenza.....	38
5.1.2.1 Calcolo della velocità critica.....	39
5.1.2.2 Calcolo delle perdite di carico per effetto camino.....	41
5.1.3. Risultati del dimensionamento dei ventilatori.....	41
5.1.3.1 Ventilazione sanitaria – condizioni di esercizio.....	42
5.1.3.2 Ventilazione in caso di incendio – condizioni di emergenza.....	42
5.1.3.3 Analisi di sensitività a 100 MW.....	43
6. IMPIANTO DI VENTILAZIONE CABINA ELETTRICA DI TRASFORMAZIONE.....	44
7. ALLEGATI.....	46
7.1.1. ALLEGATO A – CALCOLO IMPIANTO VENTILAZIONE DI GALLERIA.....	46

Indice delle figure

Figura 1: Prospetto C.1 UNI 10779.....	11
Figura 2: Schema anello antincendio esterno stazione di pompaggio.....	12
Figura 3: Sezione filtro a prova di fumo ed ingresso al cunicolo di sicurezza.....	22
Figura 4: Potenza termica pari a 30 MW.....	39
Figura 5: Fattore di pendenza del tunnel (K_g) per la determinazione della velocità critica (da figura D.1 Annex D NFPA 502).....	40

Indice delle tabelle

Tabella 1: Risultati di calcolo prevalenza del gruppo antincendio.....	13
Tabella 2: Risultati prevalenza fase di emergenza – scenario 1.1.....	28
Tabella 3: Risultati prevalenza fase di evacuazione – scenario 1.2.....	28
Tabella 4: Fase di spegnimento VVF – scenario 1.3.....	29
Tabella 5: Risultati prevalenza fase di evacuazione da un filtro – scenario 2.1.....	29
Tabella 6: Risultati prevalenza fase di evacuazione da due filtri – scenario 2.2.....	30
Tabella 7: Fase di spegnimento VVF – scenario 2.3.....	30
Tabella 8: Risultati finali ventilatori filtri a prova di fumo.....	31
Tabella 9: Risultati finali ventilatore cunicolo di sicurezza.....	31
Tabella 10: Dati geometrici galleria Felettino I.....	32
Tabella 11: Condizioni ambientali galleria Felettino I.....	33
Tabella 12: Condizioni di traffico per corsia per “tunnel urbano” (da PIARC 2019).....	34
Tabella 13: Soglia di concentrazione degli inquinanti - (PIARC 2019).....	34
Tabella 14: Ventilazione sanitaria - condizioni di esercizio.....	42
Tabella 15: Ventilazione in caso di incendio - calcoli di verifica.....	42
Tabella 16: Caratteristiche tecniche acceleratori.....	43
Tabella 17: Analisi di sensitività a 100 MW.....	43

1. PREMESSA

Il presente documento nell'ambito del progetto esecutivo, "*Variante alla SS n. 1 Aurelia (Aurelia bis) - Viabilità di accesso all'hub portuale di La Spezia - Interconnessione tra i caselli della A-12 ed il Porto di La Spezia*" costituisce la relazione di calcolo e dimensionamento per la realizzazione degli impianti meccanici a servizio della galleria Felettino I.

La galleria naturale Felettino I ha inizio al km 1+752,00, in prossimità dello svincolo di Via Buonviaggio, e termina al km 2+517,28, in prossimità dello svincolo di San Venerio. L'opera è composta da un ingresso e un'uscita del tipo a becco di flauto, parte di galleria naturale e parte artificiale, due rifugi per accedere al cunicolo di sicurezza il quale porta alla scala di emergenza, situata nel tratto di galleria artificiale, per raggiungere il piazzale di uscita. Inoltre, le quote stradali variano tra circa 53 m s.l.m. in corrispondenza dell'imbocco Sud (Svincolo San Venerio) e circa 77 m s.l.m. in corrispondenza dell'imbocco Nord (Svincolo via Buonviaggio); la pendenza media è pari al 3,29%.

La presente relazione è relativa al dimensionamento dei seguenti impianti:

- Impianto idrico antincendio;
- Impianto di ventilazione filtro e cunicolo di sicurezza;
- Impianto di ventilazione longitudinale di galleria;
- Impianto di condizionamento e ventilazione cabina elettrica di trasformazione.

1.1. IMPIANTO IDRICO ANTINCENDIO

La galleria di nuova realizzazione Felettino I sarà corredata internamente ed esternamente da un impianto idrico antincendio ad idranti, con rete ad anello. Saranno previsti idranti UNI 45 internamente alle gallerie e idranti UNI 70 esternamente alle gallerie in prossimità degli imbocchi, saranno inoltre previsti attacchi motopompa a servizio dei Vigili del Fuoco.

A servizio dell'impianto idrico antincendio sarà previsto un locale fuori terra comprendente la stazione di pompaggio e vasca di accumulo, opportunamente dimensionati per garantire il corretto funzionamento dell'impianto idrico antincendio per un tempo di 120 minuti.

1.2. IMPIANTO DI VENTILAZIONE FILTRO E CUNICOLO DI SICUREZZA

La galleria Felettino I sarà dotata di n.2 zone filtro a prova di fumo collegate al cunicolo di sicurezza posizionato al di sotto del piano stradale. Tale cunicolo di sicurezza sarà adibito a via di fuga protetta e dovrà essere mantenuto libero dai fumi ed in sovrappressione rispetto alla galleria mediante una ventilazione forzata. Per garantire il corretto funzionamento dell'impianto di ventilazione, all'interno di ciascun filtro sarà installato un ventilatore corredata a valle di serranda tagliafuoco, e saranno installate n.2 serrande di sovrappressione, n.1 lato galleria e n.1 lato cunicolo, e n. 2 serrande tagliafuoco in serie alle serrande di sovrappressione.

In esercizio normale si attiverà la ventilazione sanitaria, l'impianto di ventilazione dei filtri e cunicolo di sicurezza dovrà mantenere condizioni termoigrometriche che non consentano la formazione di muffe.

In condizione di emergenza la ventilazione dovrà garantire la sovrappressione del locale nel caso di porte chiuse, e prevenire l'ingresso dei fumi nel caso di porte aperte. La pressurizzazione dovrà essere realizzata mediante immissione di aria esterna.

In fase di spegnimento dell'incendio da parte degli addetti al soccorso dovrà essere garantita una velocità di 2 m/s per permettere agli stessi l'accesso in galleria.

1.3. IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE DI GALLERIA

La galleria Felettino I, costituita da un fornice di lunghezza inferiore a 1000 m e percorsa da traffico bidirezionale, ha una pendenza longitudinale superiore al 3%, per incrementare la sicurezza sarà dotata di un impianto di ventilazione longitudinale.

In esercizio normale si attiverà la ventilazione sanitaria, l'impianto di ventilazione dovrà diluire le concentrazioni di inquinanti (CO e fumi) che possano creare danno alla salute degli utenti o ridurre la visibilità, mantenendo le concentrazioni al di sotto dei limiti stabiliti dalle norme.

In caso di incendio si attiverà la ventilazione di emergenza, l'impianto di ventilazione dovrà controllare la propagazione dei fumi e permettere l'evacuazione degli utenti in galleria.

2. NORMATIVA

In termini generali, materiali, apparecchiature e modalità di installazione saranno conformi alle normative ed alle Leggi attualmente vigenti, fra cui si citano a titolo esemplificativo e non limitativo.

Il presente progetto Esecutivo fa riferimento alle Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali ANAS – Capitolo 3.3, emissione 2009.

Inoltre, vengono applicate le seguenti norme tecniche e Decreti:

Igiene e sicurezza nei luoghi di lavoro

- Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n.123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.
- Decreto Legislativo 3 agosto 2009, n.106 "Disposizioni integrative e correttive del decreto 9 aprile 2008, n. 81 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro"

Sicurezza degli impianti

- D.M. 22 gennaio 2008, n.37 "Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n.248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici"
- D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni"
- Regolamento UE n. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio;
- Decreto Legislativo n.106 del 16.6.2017 Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) n. 305/2011, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE;
- Legge 1 marzo 1968 n. 186 (G.U. n. 77 del 23.3.68) "Disposizioni concernenti la produzione di macchinari, installazioni ed impianti elettrici ed elettronici";
- D.P.R. 380/01 D.P.R. 6 giugno 2001, capo V "Norme per la sicurezza degli impianti";

Impianto idrico antincendio

- D.L. 5/10/2006, n. 264 "Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea".
 - Norma UNI 10779:2014 "Impianti di estinzione incendi: Reti di Idranti"
 - Norma UNI EN 12845:2015 "Installazioni fisse antincendio. Sistemi automatici a sprinkler"
 - Norma UNI 11292:2008 "Locali destinati ad ospitare gruppi di pompaggio per impianti antincendio – Caratteristiche costruttive e funzionali"
- D.M. 20/12/2012 "Regola tecnica di prevenzione incendi per gli impianti di protezione attiva contro l'incendio installati nelle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi"
- D.M. 30/11/1983 "Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi"
- UNI 804:2007 "Apparecchiature per estinzione incendi - Raccordi per tubazioni flessibili"
- UNI 810:2007 "Apparecchiature per estinzione incendi - Attacchi a vite"
- UNI 814:2009 "Apparecchiature per estinzione incendi - Chiavi per la manovra dei raccordi, attacchi e tappi per tubazioni flessibili"
- UNI 7421:2007 "Apparecchiature per estinzione incendi - Tappi per valvole e raccordi per tubazioni flessibili"
- UNI 7422:2011 "Apparecchiature per estinzione incendi - Requisiti delle legature per tubazioni flessibili"
- UNI 9487:2006 "Apparecchiature per estinzione incendi - Tubazioni flessibili antincendio di DN 70 per pressioni di esercizio fino a 1.2 MPa"
- UNI EN 671-1:2012 Sistemi fissi di estinzione incendi - Sistemi equipaggiati con tubazioni - Nascipi antincendio con tubazioni semirigide

- UNI EN 671-2:2012 Sistemi fissi di estinzione incendi - Sistemi equipaggiati con tubazioni - Idranti a muro con tubazioni flessibili
- UNI EN 671-3:2009 "Sistemi fissi di estinzione incendi - Sistemi equipaggiati con tubazioni – Manutenzione dei naspi antincendio con tubazioni semirigide ed idranti a muro con tubazioni flessibili"
- UNI EN 694:2007 "Tubazioni semirigide per sistemi fissi antincendio"
- UNI EN 1452:2001 "Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione di acqua – Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U)"
- UNI EN 10224:2006 "Tubi e raccordi di acciaio non legato per il convogliamento di acqua e di altri liquidi acquosi – Condizioni tecniche di fornitura"
- UNI EN 10225:2009 "Tubi di acciaio non legato adatti alla saldatura e alla filettatura – Condizioni tecniche di fornitura"
- UNI EN 12201:2012 "Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua – Polietilene (PE)"
- UNI EN 13244:2004 "Sistemi di tubazioni di materia plastica in pressione interrati e non per il trasporto di acqua per usi generali, per fognature e scarichi – Polietilene (PE)"
- UNI EN 14339:2006 "Idranti antincendio sottosuolo"
- UNI EN 14384:2006 "Idranti antincendio a colonna soprasuolo"
- UNI EN 14540:2014 "Tubazioni antincendio – Tubazioni appiattibili impermeabili per impianti fissi"
- UNI EN ISO 15493:2017 "Sistemi di tubazione plastica per applicazioni industriali (ABS, PVC-U e PVC-C). Specifiche per i componenti e il sistema. Serie metrica"
- UNI EN ISO 15494:2018 "Sistemi di tubazione plastica per applicazioni industriali (PB, PE e PP). Specifiche per i componenti e il sistema. Serie metrica"
- UNI EN ISO 14692:2017 "Industrie del petrolio e del gas naturale – Tubazioni in plastica vetro-rinforzata"

Impianto ventilazione

- D.Lgs.264 del 5/10/2006 di attuazione della Direttiva europea 2004/54/CE, relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea.
- Norma NFPA 92 "Standard for Smoke-Control Systems Utilizing Barriers and Pressure Differences";
- Norma BS 5588-4 "Fire precautions in the design, construction and use of buildings. Part 4: Code of practice for smoke control using pressure differentials";
- PIARC Association Internationale Permanente des Congrès de la Route – XIXe Congrès Mondial de la Route à Marrakech, Comité technique des tunnels routiers, rapport. Marrakech septembre 1991.

- PIARC Association Internationale Permanente des Congrès de la Route – XXe Congrès Mondial de la Route à Montréal, Comité technique des tunnels routiers, rapport. Montreal septembre 1995.
- PIARC Association mondiale de la Route – Comité PIARC des tunnels routiers: “Fire and Smoke Control in Road Tunnels” - ed. 1999.
- PIARC – “Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Tunnel Ventilation – 2004”.
- PIARC Association Internationale Permanente des Congrès de la Route – “Systems and Equipment for Fire and Smoke Control in Road Tunnels” – ed. 2007.
- PIARC Association mondiale de la Route – Comité technique PIARC de l’exploitation des tunnels routiers: “Tunnel Routiers: Émission des Véhicules et besoins en air pour la ventilation” - ed. 2019, di seguito indicata come PIARC 2019.
- ASTRA, direttiva 13001, Lüftung der Strassentunnel, Ausgabe 2008 – V2.01.
- ASTRA, direttiva 13002, Ventilation des galeries de sécurité des tunnels routiers 2008 – V1.05.
- “Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers – Fascicule 4 Les études spécifiques de danger”, Centre Etudes des Tunnels (CETU), Settembre 2003
- NFPA 502 “Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways”
- CEI 99-4 “Guida per l’esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale”, 2014.

3. IMPIANTO IDRICO ANTINCENDIO

Nel presente capitolo si illustrerà il dimensionamento dell’impianto antincendio a servizio della galleria stradale Felettino I.

La galleria Felettino I, di lunghezza maggiore di 500 m, sarà protetta internamente da un impianto antincendio ad idranti ad anello del tipo ordinario, tale impianto sarà corredato di un locale interrato comprendente la stazione di pompaggio e la vasca di accumulo ubicata in prossimità del portale Buon Viaggio.

Nel capitolo 3.3.2.4 del documento Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali ANAS (2009) si precisa che:

“Il sistema di alimentazione idrica deve essere in grado di garantire la continuità di erogazione idrica per almeno due ore.”

“L’impianto deve essere dimensionato in modo da garantire il simultaneo funzionamento di almeno 4 idranti DN 45 con 120 l/min cadauno e pressione residua non inferiore a 0,2 MPa e 1 idrante DN 70 con 300 l/min e pressione residua non inferiore a 0,4 MPa, nella posizione idraulicamente più sfavorevole”

In accordo con tale documento, si prevede che l'impianto dovrà essere alimentato da una riserva idrica almeno pari a 100 m³ in grado di garantire una portata complessiva di 780 l/min per 2 ore ed una pressione minima di 4 bar per l'idrante DN70 posto nella posizione più sfavorevole.

Per il dimensionamento dell'anello idrico e del gruppo di pompaggio, è stata utilizzata come riferimento la norma UNI 10779 che riporta le caratteristiche tecniche e i dati di base per la progettazione di impianti idranti.

L'impianto idrico antincendio ad idranti in pressione comprenderà i seguenti componenti principali:

- n.1 riserva idrica di capacità almeno pari a 100 m³;
- n.1 gruppo di pressurizzazione composto da elettropompa, motopompa e pompa di pressurizzazione o jockey;
- n. 2 attacchi di mandata per autopompa agli imbocchi lato Buon viaggio e lato San Venerio;
- n. 2 attacchi UNI 70 agli imbocchi lato Buon viaggio e lato San Venerio;
- n. 10 attacchi UNI 45 con interdistanza 150 m e disposti a quinconce all'interno della galleria Felettino I;
- rete di tubazioni fissa, ad anello, permanentemente in pressione, ad uso esclusivo antincendio;
- valvole di intercettazione ad ogni derivazione per l'alimentazione degli idranti;
- riduttori di pressione ad ogni derivazione per la corretta erogazione degli idranti.

Tutti i componenti saranno costruiti, collaudati e installati in conformità alla specifica normativa vigente, con una pressione nominale relativa sempre superiore a quella massima che il sistema può raggiungere in ogni circostanza e comunque non minore di 1.2 MPa (12 bar).

La stazione di pompaggio a servizio dell'impianto antincendio sarà ubicata in prossimità dell'imbocco Buon viaggio.

L'impianto sarà costituito da una dorsale idrica principale ad anello che alimenterà gli idranti UNI 45, ubicati all'interno della galleria lato marcia e lato sorpasso, con interdistanza massima pari a 150 m, e gli idranti UNI 70 posizionati all'esterno della galleria.

La tubazione di distribuzione primaria sarà costituita da una tubazione in PEAD, avente diametro Φ_e 125 (diametro interno 102,2 mm) posizionata all'interno della galleria Felettino I e nei tratti esterni in corrispondenza degli imbocchi. Tutte le tubazioni in acciaio posizionate fuori dalla stazione di pompaggio antincendio saranno dotate di cavo scaldante.

3.1. DIMENSIONAMENTO

Gli idranti saranno posizionati all'interno delle gallerie, in accordo con le Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali ANAS (2009), a quinconce e con interdistanza massima di 150 m.

Saranno quindi installati i seguenti idranti:

- n. 10 idranti UNI 45 interni,
- n.2 idranti UNI 70 agli imbocchi,
- n.2 attacchi motopompa agli imbocchi.

Il dimensionamento della rete antincendio, dei diametri delle tubazioni di alimentazione e del gruppo di pompaggio è stato effettuato in accordo con le Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali ANAS (2009) e la norma UNI 10779, considerando la seguente condizione di contemporaneità di funzionamento degli idranti:

- n. 4 idranti UNI 45, portata pari a 120 l/min, pressione residua 0.2 MPa;
- n. 1 idrante soprasuolo UNI 70, portata pari a 300 l/min, pressione residua 0.4 MPa.

Il dimensionamento sarà effettuato considerando l'idrante UNI 70 posto nella posizione idraulicamente più sfavorevole, all'imbocco della galleria Felettino I.

Per il dimensionamento della capacità della vasca antincendio, si considera una continuità di erogazione idrica per almeno per 120 minuti.

Sulla base di questi dati si è proceduto al dimensionamento della linea e del gruppo di pompaggio secondo i dettami della norma UNI 10779.

3.1.1. Dimensionamento della rete idrica

Il calcolo idraulico della rete di tubazioni consente di dimensionare ogni tratto di tubazione in base alle perdite di carico distribuite e localizzate che si hanno in quel tratto. Esso è stato eseguito sulla base dei dati geometrici (lunghezze dei tratti della rete, dislivelli geodetici, diametri nominali delle tubazioni), portando alla determinazione di tutte le caratteristiche idrauliche dei tratti (portata, perdite distribuite e concentrate). Infine, si otterranno quindi la prevalenza e la portata totale necessarie a determinare le caratteristiche e la potenza della pompa antincendio da installare a monte rete.

È stata inoltre eseguita la verifica della velocità massima raggiunta dall'acqua in tutti i tratti della rete; in particolare è stato verificato che essa non superi in nessun tratto il valore di 3.0 m/s.

3.1.1.1 Calcolo delle perdite di carico distribuite

Il calcolo delle perdite di carico distribuite è stato effettuato in accordo con la UNI 10779, applicando la formula di Hazen-Williams:

$$p = \frac{6,05 \cdot Q^{1,85} \cdot 10^9}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \text{ [mm}_{H_2O}/m]$$

Dove:

- p [mm_{H2O}/m] è la perdita di carico nella tubazione per unità lineare di lunghezza;
- Q [l/min] è la portata attraverso la tubazione,

- $C [mm^{0,5}]$ è il coefficiente di scabrezza, il quale varia in funzione del diametro, della velocità e della natura della tubazione, indicativamente può assumere i seguenti valori:
 - 100 per tubi di ghisa,
 - 120 per tubi di acciaio,
 - 140 per tubi di acciaio inossidabile, in rame e ghisa rivestita,
 - 150 per tubi di plastica, fibra di vetro e materiali analoghi;
- $D [mm]$ è il diametro medio interno della tubazione.

3.1.1.2 Calcolo delle perdite di carico concentrate

Le perdite di carico concentrate sono dovute ai raccordi, curve, pezzi a T, raccordi a croce, valvole di intercettazione e di non ritorno, attraverso i quali la direzione del flusso subisce una variazione.

La norma UNI 10779 prevede che il calcolo sia effettuato trasformando le perdite concentrate in "lunghezza di tubazione equivalente", come specificato nel prospetto C.1 della norma ed aggiunte alla lunghezza reale della tubazione di uguale diametro e natura.

prospetto C.1 **Lunghezza di tubazione equivalente**

Tipo di accessorio	DN ¹⁾											
	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
Lunghezza tubazione equivalente, m												
Curva a 45°	0,3	0,3	0,6	0,6	0,9	0,9	1,2	1,5	2,1	2,7	3,3	3,9
Curva a 90°	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	3,0	3,6	4,2	5,4	6,6	8,1
Curva a 90° a largo raggio	0,6	0,6	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,4	2,7	3,9	4,8	5,4
Pezzo a T o raccordo a croce	1,5	1,8	2,4	3,0	3,6	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	15,0	18,0
Saracinesca	-	-	-	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
Valvola di non ritorno	1,5	2,1	2,7	3,3	4,2	4,8	6,6	8,3	10,4	13,5	16,5	19,5
Nota	Il prospetto è valido per coefficiente di Hazen Williams $C = 120$ (accessori di acciaio), per accessori di ghisa ($C = 100$) i valori ivi specificati devono essere moltiplicati per 0,713; per accessori di acciaio inossidabile, di rame e di ghisa rivestita ($C = 140$) per 1,33; per accessori di plastica analoghi ($C = 150$) per 1,51.											
*)	Per valori intermedi dei diametri interni si fa riferimento al DN immediatamente successivo (maggiore).											

Figura 1: Prospetto C.1 UNI 10779

Nella determinazione delle perdite di carico localizzate si è tenuto conto che:

- quando il flusso attraversa un T ed un raccordo a croce senza cambio di direzione, le relative perdite di carico possono essere trascurate;
- quando il flusso attraversa un T ed un raccordo a croce in cui, senza cambio di direzione, si ha una riduzione della sezione di passaggio, è stata presa in considerazione la "lunghezza equivalente" relativa alla sezione di uscita (la minore) del raccordo medesimo;

- quando il flusso subisce un cambio di direzione (curva, T o raccordo a croce), è stata presa in considerazione la "lunghezza equivalente" relativa alla sezione d'uscita.

3.1.1.3 Pressioni all'idrante

L'inserimento di un riduttore di pressione in corrispondenza di ciascun idrante permette di effettuare un calcolo che tenga conto di una condizione di lavoro normale, la quale prevede una prevalenza utile all'uscita del bocchello pari a 0.4 MPa (4.0 bar). Inoltre, non essendo a conoscenza del costruttore dell'idrante, si considererà, nella tabella di calcolo che determina le pressioni finali di esercizio, una perdita di carico concentrata pari a 4.0 bar.

3.1.1.4 Condizioni di esercizio

Per il dimensionamento della rete nello specifico, è stata considerata la condizione più gravosa, ovvero avere in funzione l'idrante sottosuolo posto in corrispondenza dell'imbocco Buon viaggio direzione Buon viaggio, e gli ultimi 4 idranti alimentati. Il tutto come se fosse alimentato da un solo ramo in funzione.

3.1.1.5 Dimensionamento del gruppo di pompaggio

Per l'individuazione degli elementi della rete si è proceduto alla numerazione dei nodi e dei tratti.

Nelle figure e nelle tabelle sottostanti sono indicate le piante con le indicazioni della numerazione considerata e le tabelle di calcolo con le perdite di carico risultanti:

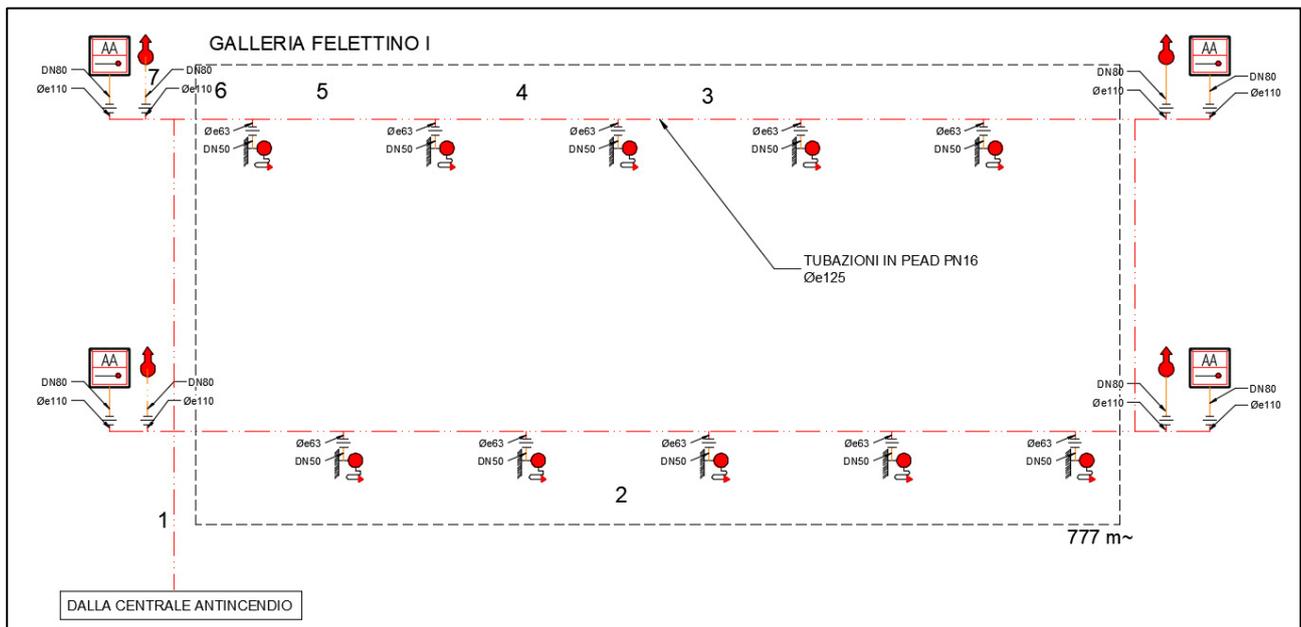


Figura 2: Schema anello antincendio esterno stazione di pompaggio

Nella seguente tabella i riportano le portate, velocità, diametri tubazioni, lunghezze equivalenti, necessari per il calcolo delle perdite di carico totali delle tubazioni antincendio:

Tabella 1: Risultati di calcolo prevalenza del gruppo antincendio

TIPOLOGIA TUBI	PEAD						ACCIAIO
TRATTO	1	2	3	4	5	6	7
Q [mc/h]	46,8	46,8	39,6	32,4	25,2	18	18
Q [l/min]	780	780	660	540	420	300	300
v richiesta [m/s]	2	2	2	2	2	2	2
Drif [mm]	91,00	91,00	83,70	75,71	66,77	56,43	56,43
DN [DN]	125	125	125	125	125	125	80
Dint [mm]	102,2	102,2	102,2	102,2	102,2	102,2	80,9
v effettiva [m/s]	1,59	1,59	1,34	1,10	0,85	0,61	0,97
C	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	120,00
Δp distr [mmH ₂ O/m]	20,9091	20,9091	15,3503	10,5898	6,6523	3,5697	16,8359
Δp distr [kPa/m]	0,2091	0,2091	0,1535	0,1059	0,0665	0,0357	0,1684
L [m]	75	1115	150	150	150	105	2,5
CURVE 90	6	2	0	0	0	0	2
	32,616	10,872	0	0	0	0	4,2
T	0	0	1	1	1	1	0
	0	0	11,325	11,325	11,325	11,325	0
Saracinesca	1	0	1	1	1	1	1
	0,906	0	0,906	0,906	0,906	0,906	0,3
Valvola di ritegno	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0
L equivalente [m]	33,522	10,872	12,231	12,231	12,231	12,231	4,5
L tot [m]	108,522	1125,872	162,231	162,231	162,231	117,231	7
Δp circuito [kPa]	22,691	235,410	24,903	17,180	10,792	4,185	1,179
Δp circuito tot [kPa]							316,34
Δp circuito tot [bar]							3,16
Δp bocchetta [bar]							4,00
Δp circuito tot + Δp bocchetta [bar]							7,16
Δp aspirazione [bar]							0,50
Δp pompa antincendio [bar]							7,66
Δp pompa antincendio [mca]							78,14

dove:

- Q: portata idrica circolante nel tronco di condotta considerato;
- DN: diametro nominale della tubazione;
- Dint: diametro interno della tubazione;

- v effettiva: velocità media del fluido all'interno della tubazione, come rapporto fra portata e area della sezione trasversale;
- C : coefficiente di scabrezza il cui valore dipende dal materiale della tubazione (per la tubazione in PEAD $C=150$, in acciaio $C=120$);
- L : lunghezza del tronco considerato, fra l'idrante in esame e quello immediatamente precedente;
- $Lequiv$: lunghezza equivalente, corrispondente alla trasformazione ad una lunghezza che generi da una perdita distribuita equivalente ad una concentrata, come prescritto dalla norma e per semplificazione del calcolo;
- $\Delta P_{circuito}$: totale delle perdite di carico distribuite e il totale delle perdite di carico concentrate (le perdite di carico concentrate sono state trasformate in "lunghezza di tubazione equivalente", secondo quanto prescritto dalla norma UNI 10779 ed aggiunte alla lunghezza reale della tubazione di uguale diametro);
- $\Delta P_{bocchetta}$: pressione residua all'ingresso dell'idrante, non inferiore a 4,0 bar per gli idranti soprasuolo UNI 70.

La tubazione di distribuzione primaria sarà costituita da una tubazione in PEAD avente diametro Φ_e 125 (diametro interno 102,2 mm), posizionata all'interno della galleria ed in tutti i tratti esterni alla galleria. Ciascun idrante sarà dotato di riduttore di pressione.

Il gruppo di pompaggio dovrà essere in grado di garantire una portata pari a 46,8 m³/h (780 l/min) e contemporaneamente una prevalenza complessiva pari a:

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_{distr} + \Delta P_c + \Delta P_{residua} + \Delta P_{geo} + \Delta P_{aspirazione} = \Delta P_{circuito} + \Delta P_{bocchetta} + \Delta P_{geo} + \Delta P_{aspirazione}$$

- ΔP_{tot} prevalenza fornita dal gruppo di pressurizzazione espressa in bar;
- $\Delta P_{circuito}$ prevalenza dovuta alle perdite di carico lungo la rete idranti (3,16 bar), data da concentrata e distribuita ($\Delta P_{distr} + \Delta P_c$);
- $\Delta P_{bocchetta}$ pressione necessaria in erogazione all'idrante soprasuolo UNI 70 per un'erogazione di 300 l/min (4,0 bar);
- ΔP_{geo} prevalenza geodetica espressa in bar, si considera trascurabile per il caso in esame;
- $\Delta P_{aspirazione}$ imposta pari a 0,5 bar.

$$\Delta P_{circuito} + \Delta P_{bocchetta} + \Delta P_{aspirazione} = 3,16 \text{ bar} + 4,00 \text{ bar} + 0,50 \text{ bar} \cong 7,66 \text{ bar}$$

Da cui risulta che il gruppo di pressurizzazione dovrà fornire almeno il seguente punto di lavoro: 780 l/min a 7,66 bar.

Il dimensionamento della pompa viene effettuato considerando una portata aggiuntiva per ricircolo by-pass dell'acqua, pertanto la portata della pompa sarà considerata pari a 54 m³/h (900 l/min).

Tale requisito determina le condizioni seguenti:

- Tipologia alimentazione	singola superiore
- Portata pompa antincendio	900 l/min
- Pressione pompa antincendio	8,0 bar
- Potenza elettrica	30,0 kW

Il gruppo di pompaggio della centrale antincendio sarà caratterizzato da due pompe con prestazioni idrauliche identiche: una elettropompa di esercizio ed una motopompa di riserva. Inoltre, vi è una pompa di pressurizzazione o jockey. Il gruppo di pompaggio, caratterizzato da pompe ad asse orizzontale installate sottobattente, sarà sostanzialmente un gruppo a norma UNI EN 12845, fornito preassemblato su un basamento e certificato dalla casa costruttrice.

La presa delle pompe sarà del tipo sottobattente e tutto il complesso risponderà alle prescrizioni delle norme UNI 10779 e UNI 12845. L'installazione dovrà avvenire in un locale dedicato conforme alla norma UNI 11292.

La potenza elettrica è stata determinata sulla base di schede tecniche di gruppi di pompaggio.

3.1.1.6 *Calcolo sovrappressione per colpo d'ariete*

Il fenomeno del colpo d'ariete si verifica quando il flusso d'acqua in una lunga tubazione viene arrestato repentinamente. Per il calcolo della sovrappressione generata nelle tubazioni a causa degli effetti dovuti al colpo d'ariete si può partire dal calcolo della velocità dell'onda di pressione nella tubazione c [m/s] attraverso la formula di Mariotte. Cautelativamente si calcoleranno le perdite di pressione a causa del fenomeno del colpo d'ariete per la tubazione in PEAD, per la quale si ha una velocità maggiore all'interno della tubazione:

$$c = \frac{C}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon}{E} \cdot \frac{D}{s}}} \text{ [m/s]}$$

Dove:

- C è la velocità del suono nell'acqua a 20°C [1484 m/s]
- ε è il modulo di elasticità di volume dell'acqua [$2,3 \cdot 10^8$ kg/m²]
- E è il modulo di elasticità della tubazione [$1,2 \cdot 10^8$ kg/m²]
- D è il diametro interno della tubazione [$\Phi_i = 102,2$ mm]
- s è lo spessore della tubazione primaria [11,4 mm]

La sovrappressione massima dovuta al colpo d'ariete si genera quando il tempo di manovra/chiusura della saracinesca o azionamento pompa è pari a 0, $T_c = 0$.

Quando $T_c = 0$ (manovra istantanea) la sovrappressione generata nella condotta è valutabile secondo la seguente formula:

$$\Delta p_{colpo\ ariete} = \frac{\rho \cdot c \cdot v}{1000} [kPa] = 553,3\ kPa = 5,53\ bar$$

Dove:

- Δp è la sovrappressione generata nella condotta [kPa],
- ρ è la massa volumica dell'acqua a 15°C [1000 kg/m³],
- c è la velocità dell'onda di pressione nella tubazione, calcolata tramite la formula di Mariotte [m/s],
- v è la velocità più elevata dell'acqua nella tubazione prima dell'arresto del flusso [1,59 m/s].

In relazione ai risultati del calcolo ottenuti, sommando la sovrappressione alla pressione generata dalla pompa, si ottiene una pressione massima di 8,0 bar + 5,53 bar = 13,53 bar.

Si ritiene pertanto necessario utilizzare tubazioni e strumentazione con pressione di esercizio PN16.

3.1.2. Dimensionamento della riserva idrica

Considerando il funzionamento contemporaneo, per almeno 120 min, di 4 idranti DN 45 con erogazione di 120 l/min cadauno e pressione residua di 2,0 bar e 1 idrante DN 70 con erogazione di 300 l/min e pressione residua di 4,0 bar, ne deriva che la riserva idrica della stazione di pompaggio dovrà presentare una capacità utile netta pari a:

$$V_u = Q_{max} \cdot t = 780\ l/min \cdot 120\ min = 93600\ l = 93,6\ m^3$$

dove V_u [l] è il volume utile minimo della vasca di accumulo, Q_{max} [l/min] è la portata massima contemporanea erogata, t [min] è la durata minima richiesta di alimentazione dell'impianto secondo Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali ANAS (2009).

La dimensione minima utile della riserva idrica risulta pari a 93,6 m³, per il presente impianto antincendio è stata adottata una capacità di riserva pari a 100 m³.

- Portata massima contemporanea	780	l/min
- Durata riserva idrica	120	min
- Capacità minima riserva	93,6	m ³
- Capacità riserva adottata	100	m ³

La riserva sarà dotata di:

- una tubazione di carico/reintegro della vasca;
- una sonda di allarme di basso livello dell'acqua;
- una valvola a galleggiante indicante il livello massimo di riempimento;
- una tubazione di scarico di fondo della vasca;

- una tubazione di alimentazione dell'impianto antincendio, che preleverà l'acqua ad un'altezza di circa 15 centimetri dal fondo della vasca, dotata di filtro;
- una tubazione di sfianto;
- tubazione di scarico di troppo pieno;
- un indicatore di livello.

3.2. LOCALE DI POMPAGGIO

Per garantire la fornitura di acqua in caso di emergenza verranno installate nel locale pompaggio una elettropompa alimentata da apposita alimentazione elettrica, una motopompa alimentata da un serbatoio a bordo della capacità sufficiente per garantire il funzionamento di 6 ore ed una pompa pilota in grado di vincere le eventuali piccole cadute di pressione che possono verificarsi lungo la rete.

Il locale interrato rispetta tutte le prescrizioni previste dalla norma UNI 11292:

- La potenza complessiva del motore termico associato alla motopompa supera i 40 kW, pertanto è necessario installare un motore con raffreddamento tramite scambiatore acqua-acqua.
- I locali devono essere areati naturalmente con aperture permanenti di superficie non minore di 1/100 della superficie in pianta del locale. La superficie in pianta del locale pompe è pari a 6,4 m x 3 m = 19,2 m². È stata creata quindi un'apertura grigliata in corrispondenza dell'accesso al locale interrato per immissione dell'aria di dimensioni pari a 0.5 x 0.5 = 0.25 m², valore superiore a 1/100 come richiesto da normativa.
- Per garantire il corretto smaltimento del calore prodotto dal motore diesel raffreddato ad acqua di potenza superiore a 40 kW, è previsto un sistema di estrazione forzata, garantito anche in assenza di alimentazione da rete elettrica per il tempo di funzionamento previsto per il sistema antincendio, considerando una portata di aria non minore di: $Q = 50 \times P = 50 \times 41 \approx 2100 \text{ m}^3/\text{h}$, dove Q è la portata di aria da estrarre in m³/h, P è la potenza installata in kW. Un canale in lamiera zincata estrae l'aria e la espelle all'esterno.
- Per il motore diesel si deve prevedere l'uscita dei fumi di scarico mediante apposita marmitta installata all'interno del locale. La tubazione dei gas combusti deve essere sistemata in modo da scaricare direttamente, o tramite camino, in atmosfera.
- Per il motore diesel si deve prevedere un tubo di sfianto del serbatoio che deve essere portato all'esterno.
- Saranno installate due pompe di sollevamento per eventuali perdite all'interno del locale tecnico, ognuna con una portata di 15 m³/h, collegate al sistema allarme, di cui una in backup all'altra.
- Sarà installata una pompa di sollevamento acque reflue ad immersione per lo svuotamento di ciascuna vasca antincendio, avente portata 3 m³/h ciascuna.
- Sarà installato un termoconvettore elettrico con funzione antigelo con termostato integrato di potenza almeno pari 4 kW.

Il tutto nel rispetto della normativa vigente.

4. IMPIANTO DI VENTILAZIONE FILTRO E CUNICOLO DI SICUREZZA

Nei presenti capitoli si illustrerà il dimensionamento dell'impianto di ventilazione a servizio dei filtri a prova di fumo e cunicolo di sicurezza della galleria stradale Felettino I.

La galleria sarà dotata di n.2 uscite di sicurezza verso cunicolo di sicurezza dotate di zona filtro a prova di fumo all'interno del tratto galleria naturale a sezione circolare e di n.1 uscita dal cunicolo di sicurezza ad esterno localizzata all'interno del tratto galleria artificiale a sezione rettangolare.

Nei capitoli 3.3.1.4.6 e 3.3.1.4.7.2 delle Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali ANAS (2009) si precisa che:

"I cunicoli di sicurezza possono essere adibiti a: via di fuga protetta [...]. Una via di fuga protetta è una zona destinata all'esodo delle persone sufficientemente illuminata e mantenuta libera dai fumi ed in sovrappressione rispetto alla galleria mediante ventilazione forzata e separata dalla galleria mediante strutture e porte caratterizzate da un grado di compartimentazione REI 120."

"L'impianto di ventilazione del cunicolo di sicurezza e delle gallerie di emergenza deve assicurare le seguenti modalità:

- funzionamento in esercizio: mantenere condizioni termoigrometriche che non consentano la formazione di muffe;
- funzionamento in emergenza per gli utenti: garantire la sovrappressione delle zone filtro a prova di fumo, e garantire la qualità dell'aria qualora il cunicolo di sicurezza o la galleria di emergenza siano adibiti a luogo sicuro temporaneo;
- funzionamento in emergenza per gli addetti al soccorso ed allo spegnimento: garantire una velocità media del flusso sufficiente a consentire l'accesso alla canna incidentata."

Per il dimensionamento dell'impianto di ventilazione si fa riferimento al capitolo 3.3.2.2.4 delle Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali ANAS (2009):

"Nelle gallerie in cui vengono realizzate vie di fuga, tra la galleria stradale e la via di fuga protetta deve essere realizzata una zona filtro a prova di fumo.

L'impianto di ventilazione deve mantenere la via di fuga libera dai fumi e garantire un livello accettabile di qualità dell'aria agli utenti.

La sovrappressione, a porte chiuse, necessaria alla pressurizzazione della zona filtro a prova di fumo deve essere tendenzialmente pari a 50 Pa rispetto alla galleria stradale e, comunque, non inferiore a 30 Pa o superiore a 80 Pa. La forza applicata per l'apertura della porta non deve superare 220 N.

La pressurizzazione deve essere realizzata mediante immissione di aria esterna alla galleria stradale, ed attuata da un impianto dedicato.

La ventilazione della zona filtro a prova di fumo deve essere dimensionata in modo tale da garantire, in presenza di una porta aperta, una velocità del flusso d'aria non inferiore a 0,75 m/s attraverso la sezione della porta.

Inoltre, durante la fase di spegnimento, al fine di consentire l'accesso dei Vigili del Fuoco all'interno della galleria stradale, il sistema di pressurizzazione deve realizzare l'"effetto bolla"; l'impianto di ventilazione deve, cioè,

garantire, per alcuni secondi, una velocità minima del flusso d'aria, attraverso la porta di comunicazione con la galleria stradale, pari a 2 m/s."

In accordo con tale documento, si prevede che ciascuna zona filtro a prova di fumo ed il cunicolo di sicurezza siano dotati di idoneo impianto di ventilazione che dovrà funzionare nelle tre condizioni sopra illustrate.

Il sistema di ventilazione per la pressurizzazione dei filtri a prova di fumo e cunicolo di sicurezza sarà composto da:

- n. 1 canale rettangolare per l'immissione di aria dal ventilatore assiale esterno al cunicolo di sicurezza;
- n. 2 ventilatori assiali con accessori, per la loro pressurizzazione di ciascun filtro a prova di fumo;
- n. 1 ventilatore assiale con accessori, per la pressurizzazione del cunicolo di sicurezza e fornitura di aria esterna ai filtri a prova di fumo;
- n. 3 serrande tagliafuoco motorizzate, in corrispondenza della mandata di ciascun ventilatore;
- n. 4 serrande di sovrappressione in serie alla serranda tagliafuoco sulla parete tra filtro e galleria e sulle pareti tra filtro e cunicolo.

La conformazione del sistema è tale da consentire l'esodo delle persone dalla galleria verso l'esterno tramite l'ingresso ai filtri a prova di fumo ed il percorso del cunicolo di sicurezza.

Le uscite di emergenza saranno di tipo pedonale e dovranno prevedere un filtro a prova di fumo (zona compresa tra la galleria e la via di fuga protetta) ed un sistema di sovrappressione in grado di creare una sovrappressione rispetto alla galleria, pari a +50 Pa, a porte chiuse. Il filtro a prova di fumo prevede, complessivamente, n.2 porte (n.1 lato galleria e n.1 lato via di fuga protetta) ciascuna di dimensioni 1.2 x 2.10 m.

In particolare, sono previste:

- n.2 porte, con maniglione antipanico, del tipo REI 120, per l'accesso dalla galleria ai filtri a prova di fumo (una per ciascun filtro);
- n.2 porte, con maniglione antipanico, del tipo REI 120, per l'accesso dal filtro a prova di fumo alle scale di collegamento con il cunicolo di sicurezza (una per ciascun filtro);
- n.2 porte, con maniglione antipanico, del tipo REI 120, per l'accesso dalle scale di collegamento al cunicolo di sicurezza (una per ciascun filtro);
- n.1 porta, con maniglione antipanico, del tipo REI 120, per l'accesso dal cunicolo di sicurezza alle scale di collegamento con l'esterno.

Le porte REI 120 avranno apertura verso la via di fuga protetta.

La via di fuga protetta è dotata di un sistema di ventilazione in grado di pressurizzarla rispetto alla galleria, allo scopo di impedire, in caso di emergenza incendio, la propagazione dei fumi presenti in galleria verso la stessa via di fuga.

Il dimensionamento dell'impianto di pressurizzazione per i filtri a prova di fumo e per il cunicolo di sicurezza è stato sviluppato sulla base dei seguenti scenari:

- Pressurizzazione dei filtri a prova di fumo:
 - Fase di emergenza – scenario n. 1.1: n.2 porte del filtro chiuse. L'impianto di pressurizzazione deve garantire una differenza di pressione positiva (+ 50 Pa) tra il filtro a prova di fumo e la galleria.
 - Fase di evacuazione – scenario n. 1.2: n.2 porte del filtro aperte. L'impianto di pressurizzazione deve garantire una portata d'aria tale da ottenere una velocità dell'aria, attraverso ciascuna porta aperta, pari a 0,75 m/s. Ciò, al fine di evitare la propagazione dei fumi dalla galleria (ove si è verificato l'evento incendio) all'interno del filtro e della via di fuga protetta.
 - Fase di spegnimento VVF – scenario n. 1.3: n.1 porta del filtro aperta. L'impianto di pressurizzazione deve garantire una portata d'aria tale da ottenere una velocità dell'aria, attraverso ciascuna porta aperta, pari a 2 m/s. Ciò, al fine di consentire l'accesso dei Vigili del Fuoco all'interno della galleria stradale interessata dall'incendio.

- Pressurizzazione del cunicolo di sicurezza:
 - Fase di evacuazione da un filtro – scenario n. 2.1: n.2 porte del filtro aperte. L'impianto di pressurizzazione deve garantire una portata d'aria tale da ottenere una velocità dell'aria, attraverso ciascuna porta aperta, pari a 0,75 m/s. Ciò, al fine di evitare la propagazione dei fumi dalla galleria (ove si è verificato l'evento incendio) all'interno del filtro e della via di fuga protetta.
 - Fase di evacuazione da due filtri – scenario n. 2.2: n.4 porte dei filtri aperte. L'impianto di pressurizzazione deve garantire una portata d'aria tale da ottenere una velocità dell'aria, attraverso ciascuna porta aperta, pari a 0,75 m/s. Ciò, al fine di evitare la propagazione dei fumi dalla galleria (ove si è verificato l'evento incendio) all'interno del filtro e della via di fuga protetta.
 - Fase di spegnimento VVF – scenario n. 2.3: n.1 porta del filtro aperta. L'impianto di pressurizzazione deve garantire una portata d'aria tale da ottenere una velocità dell'aria, attraverso ciascuna porta aperta, pari a 2 m/s. Ciò, al fine di consentire l'accesso dei Vigili del Fuoco all'interno della galleria stradale interessata dall'incendio.

4.1. DIMENSIONAMENTO

L'impianto prevede l'installazione di n.1 ventilatore assiale per ciascun filtro a prova di fumo installato all'uscita del filtro verso la via di fuga protetta, il quale aspira l'aria dal cunicolo di sicurezza, pressurizzato da n.1 ventilatore assiale posizionato all'esterno della galleria.

L'impianto di sovrappressione è stato dimensionato sulla base degli scenari indicati nel precedente capitolo.

L'impianto sarà caratterizzato da:

- n.1 ventilatore assiale per ciascun filtro a prova di fumo;

- n.1 ventilatore assiale per la pressurizzazione del cunicolo di sicurezza e immissione dell'aria dall'esterno per il corretto funzionamento dei ventilatori dei filtri a prova di fumo;
- Sistema di regolazione elettronico integrato nel ventilatore;
- Sistema di misurazione della pressione per il controllo della velocità del ventilatore;
- Sistema di sensori per attuare logiche di funzionamento;
- Quadro elettrico di alimentazione;
- Serranda motorizzata ON/OFF,
- PLC,
- Pulsante VVF per funzionamento ventilatore in fase di spegnimento VVF.

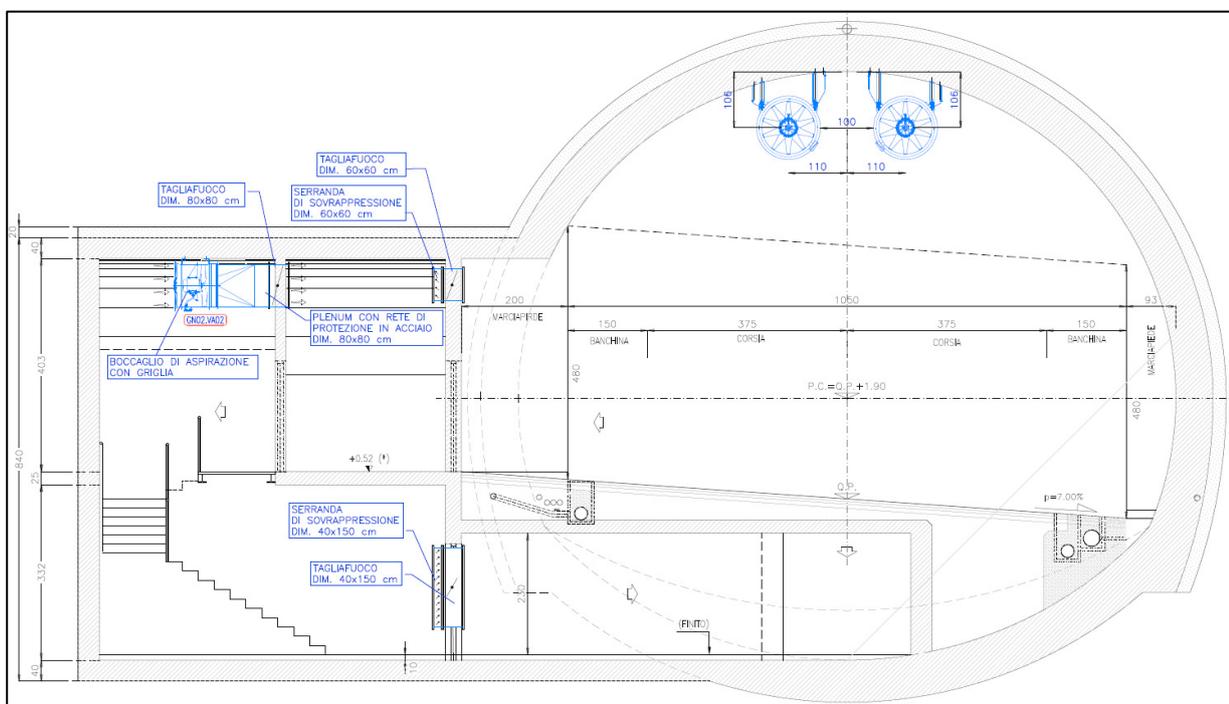


Figura 3: Sezione filtro a prova di fumo ed ingresso al cunicolo di sicurezza

Il funzionamento prevede tre condizioni di esercizio:

- Esercizio normale - ventilazione sanitaria;
- Esercizio normale - condizione di preallarme;
- Condizioni d'emergenza - evento incendio in galleria

4.1.1. Esercizio normale – ventilazione sanitaria

In condizioni di esercizio normale sarà necessario garantire, all'interno del filtro a prova di fumo e della via di fuga protetta, un adeguato ricambio d'aria per mantenere condizioni termoigrometriche tali da evitare la formazione di muffe.

A tale scopo sarà necessario attivare, tramite temporizzatore, l'impianto di sovrappressione per una durata sufficiente a garantire una portata minima di ventilazione sanitaria, almeno ogni due giorni.

Il processo di ricambio d'aria viene attivato in condizioni di esercizio normale e, di conseguenza, con le porte del filtro chiuse. Il ricambio d'aria sarà effettuato con il prelievo di aria fresca dall'esterno della galleria e l'immissione verso l'interno cunicolo di sicurezza.

Per consentire il ricambio d'aria anche all'interno del filtro sarà necessario creare due aperture con dimensioni pari a 0.4 m x 1.5 m situate in corrispondenza della parete che separa le scale all'uscita del filtro dal cunicolo di sicurezza.

In corrispondenza di tali aperture è prevista una serranda di sovrappressione ed una serranda tagliafuoco in serie per ciascuna apertura, di dimensioni 0.4 m x 1.5 m. Le serrande tagliafuoco saranno comandate elettricamente per mezzo di un attuatore e saranno normalmente in posizione chiusa (OFF). Per consentire il ricambio d'aria, l'attivazione dei ventilatori sarà subordinata all'apertura delle serrande motorizzate tagliafuoco ubicate nei canali di mandata dell'aria in corrispondenza del cunicolo di sicurezza e nei filtri a prova di fumo e delle serrande tagliafuoco motorizzate tra le scale all'uscita del filtro ed il cunicolo di sicurezza, tramite comando remoto e contatto di fine corsa.

La regolazione del ventilatore sarà effettuata automaticamente, dal sistema di regolazione elettronico integrato nel ventilatore stesso.

4.1.2. Esercizio normale – condizione di preallarme

Durante le condizioni di esercizio normale, l'apertura di una delle porte di accesso al filtro (lato galleria), sarà interpretato dal sistema di supervisione (scenario predefinito) come una condizione di emergenza incendio (preallarme). Il PLC, per mezzo di contatti magnetici installati sulle porte di accesso al filtro (lato galleria) provvederà, tramite scenario automatico predefinito, all'attivazione dell'impianto di pressurizzazione. Eventuali condizioni di allarme saranno trasmesse alla SPVI/PCS mediante sistema di comunicazione.

4.1.3. Condizione di emergenza – evento incendio in galleria

In caso di evento incendio in galleria, l'allarme generato dal sistema di rilevazione incendi viene trasmesso alla SPVI/PCS il quale, previo consenso dell'operatore o mediante applicazione automatica di scenari predefiniti, aziona il ventilatore ubicato all'uscita della galleria ed il ventilatore ubicato in corrispondenza del filtro a prova di fumo più vicino all'incendio, generando una portata d'aria di almeno 0,75 m/s per ciascuna porta per la configurazione di evacuazione a porte aperte ed una sovrappressione di +50 Pa per la configurazione di emergenza a porte chiuse.

In caso di evento incendio posizionato tra i due filtri a prova di fumo ubicati in galleria, si aziona il ventilatore ubicato all'uscita della galleria ed entrambi i ventilatori ubicati in corrispondenza dei due filtri a prova di fumo, in modo da permettere l'esodo delle persone da entrambi i percorsi, anche in questo caso sarà necessario generare una portata d'aria di almeno 0,75 m/s per ciascuna porta per la configurazione di evacuazione a porte aperte.

Il pulsante VVF, posizionato all'interno dei filtri a prova di fumo, permette di modificare la configurazione del ventilatore, in modo che generi una portata d'aria di almeno 2 m/s per ciascuna porta aperta per la configurazione di spegnimento a porte aperte.

4.1.3.1 Fase di spegnimento VVF – calcolo della portata d'aria a porte aperte

In condizione di emergenza a causa di un incendio, la velocità dell'aria attraverso le porte aperte, deve essere tale da consentire l'accesso dei Vigili del Fuoco all'interno della galleria stradale interessata dall'incendio, per tale ragione il sistema di pressurizzazione deve realizzare l'"effetto bolla".

La velocità dell'aria, attraverso una porta aperta del filtro in comunicazione con la galleria stradale, non deve essere inferiore a 2 m/s.

Durante la fase di spegnimento VVF si prevede che vi sia n. 1 porta aperta di un filtro, di dimensione 1.2 m x 2.1 m ciascuna.

Imponendo una velocità dell'aria attraverso la porta aperta, pari a:

$v_{ps} = 2$ m/s, durante la fase di spegnimento da parte dei VVF, la portata d'aria massima richiesta in caso d'incendio sarà pari al seguente risultato:

- Fase di spegnimento VVF:

$$Q_{vvf} = v_{ps} \cdot n_p \cdot A_p = 2 \text{ m/s} \cdot 1 \cdot 2,52 \text{ m}^2 = 5,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

Il ventilatore posizionato in corrispondenza di ciascun filtro, pertanto, dovrà essere dimensionato per garantire tale portata d'aria. Inoltre, il ventilatore posizionato esternamente per la ventilazione del cunicolo di sicurezza dovrà garantire l'immissione di tale portata.

4.1.3.2 Fase di evacuazione – calcolo della portata d'aria a porte aperte

In condizione di emergenza a causa di un incendio, la velocità dell'aria attraverso le porte aperte, deve essere tale da evitare la propagazione dei fumi all'interno del filtro e della via di fuga protetta.

La velocità dell'aria, attraverso le porte aperte del filtro, non deve essere inferiore a 0,75 m/s per ciascuna porta aperta.

Durante la fase di evacuazione si prevede che vi siano n. 2 porte aperte del filtro (una lato galleria e una lato cunicolo di sicurezza), di dimensione 1.2 m x 2.1 m ciascuna.

Imponendo una velocità dell'aria attraverso ciascuna porta aperta, pari a:

$v_{pev} = 0,75$ m/s, durante la fase di evacuazione, la portata d'aria massima richiesta in caso d'incendio sarà pari al seguente risultato:

- Fase di evacuazione – ventilatore filtro a prova di fumo:

$$Q_{ev} = v_{pev} \cdot n_p \cdot A_p = 0,75 \text{ m/s} \cdot 2 \cdot 2,52 \text{ m}^2 = 3,78 \text{ m}^3/\text{s}$$

In caso di evento incendio posizionato tra i due filtri a prova di fumo ubicati in galleria, il ventilatore ubicato all'uscita della galleria dovrà garantire una portata d'aria di almeno 0,75 m/s per ciascuna porta per la configurazione di evacuazione per entrambi i filtri, per un totale di n. 4 porte aperte:

- Fase di evacuazione – ventilatore cunicolo di sicurezza:

$$Q_{ev} = v_{pev} \cdot n_p \cdot A_p = 0,75 \text{ m/s} \cdot 4 \cdot 2,52 \text{ m}^2 = 7,56 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.1.3.3 Fase di emergenza – calcolo della portata d'aria a porte chiuse

Nella configurazione a porte chiuse, la portata d'aria massima, calcolata nella configurazione a porte aperte, produrrebbe una sovrappressione più elevata all'interno del filtro e della via di fuga.

La regolazione della portata d'aria dovrà essere effettuata per mezzo di un regolatore elettronico installato nel quadro di alimentazione del ventilatore, interfacciato con un pressostato (che rileva il valore di pressione all'interno del filtro), in modo tale da mantenere la pressione all'interno del filtro e della via di fuga protetta ad un valore pari a +50 Pa.

Per determinare le caratteristiche dell'impianto di sovrappressione, in condizione di emergenza incendio (porte chiuse), è necessario calcolare la portata d'aria Q_{em} che attraversa la serranda di sovrappressione posizionata tra il filtro e la galleria.

Le perdite d'aria per trafileamento attraverso le guarnizioni delle porte (chiuse) ed attraverso le microfessure dei muri sono considerate trascurabili.

Il filtro presenta, verso il lato Galleria, una serranda di sovrappressione, in serie ad una serranda tagliafuoco per garantire la compartimentazione REI 120, normalmente chiusa in esercizio normale (a meno della ventilazione sanitaria programmata tramite temporizzatore). La serranda di sovrappressione e la serranda tagliafuoco nella parete del filtro posizionato in corrispondenza della galleria, risulteranno aperte in caso di condizione di emergenza.

Il dimensionamento della portata d'aria da garantire per ottenere una sovrappressione di 50 Pa all'interno del filtro e della via di fuga protetta sarà effettuato in funzione della portata d'aria prevista in transito attraverso la serranda di sovrappressione aperta.

La serranda di sovrappressione inserita nel filtro lato Galleria interessata dall'incendio dovrà garantire una sovrappressione di 50 Pa, dalle specifiche tecniche scelte da un fornitore, la velocità dell'aria attraverso tale serranda sarà pari a $v_s = 6,5 \text{ m/s}$. Tale velocità potrà essere modificata in funzione del pressostato ambiente inserito e dell'inverter che può variare la portata del ventilatore.

Le dimensioni della serranda da prevedere per garantire il corretto funzionamento dei ventilatori, modulati tramite inverter, saranno pari a 0.60 m x 0.60 m, la sezione sarà pari a 0.36 m².

La portata necessaria per garantire la pressurizzazione del filtro e della via di fuga a 50 Pa sarà pari alla portata d'aria in transito attraverso la serranda di sovrappressione:

$$Q_{em} = v_s \cdot A_s = 6,5 \text{ m/s} \cdot 0,36 \text{ m}^2 = 2,34 \text{ m}^3/\text{s}$$

La sovrappressione generata dall'impianto di ventilazione, pari a 50 Pa, esercita una forza massima su ciascuna porta di emergenza, pari a: $F_p = P \cdot A_p = 50 \text{ Pa} \cdot 2,52 \text{ m}^2 = 126,0 \text{ N}$.

Tale forza è compatibile con la massima forza di apertura ammissibile per le porte di emergenza, pari a 220 N, secondo quanto prescritto dal capitolo 3.3.2.2.4 delle Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali ANAS (2009).

I ventilatori per la pressurizzazione del filtro a prova di fumo saranno del tipo assiale, con curva caratteristica compatibile con i seguenti punti di lavoro:

- $Q_{1,1,em} = 2,34 \text{ m}^3/\text{s}$ @ 50 Pa (fase di emergenza – n.2 porte chiuse);
- $Q_{1,2,ev} = 3,78 \text{ m}^3/\text{s}$ (fase di evacuazione – n.2 porte aperte);
- $Q_{1,3,vf} = 5,04 \text{ m}^3/\text{s}$ (fase di spegnimento VVF– n.1 porta aperta).

Il ventilatore per la pressurizzazione del cunicolo di sicurezza sarà del tipo assiale, con curva caratteristica compatibile con i seguenti punti di lavoro:

- $Q_{2,1,ev} = 3,78 \text{ m}^3/\text{s}$ (fase di evacuazione un filtro– n.2 porte aperte);
- $Q_{2,2,ev} = 7,56 \text{ m}^3/\text{s}$ (fase di evacuazione due filtri – n.4 porte aperte);
- $Q_{2,3,vf} = 5,04 \text{ m}^3/\text{s}$ (fase di spegnimento VVF– n.1 porta aperta);

In condizioni di esercizio normale, l'impianto di pressurizzazione risulterà non attivo (a meno della ventilazione sanitaria programmata tramite temporizzatore).

L'impianto sarà attivato dalla SPVI/PCS, in caso di emergenza incendio in galleria.

Il sistema di pressurizzazione potrà essere gestito in locale, agendo manualmente sul quadro elettrico di alimentazione, oppure da remoto, tramite sistema di supervisione.

Il pulsante VVF, posizionato all'interno dei filtri a prova di fumo, permetterà di modificare la configurazione del ventilatore nella fase di spegnimento a porte aperte.

4.1.3.4 *Calcolo della prevalenza dei ventilatori*

Il calcolo procede con la determinazione della prevalenza dei ventilatori considerando sia le perdite di carico localizzate sia le perdite di carico distribuite.

Il calcolo delle perdite di carico localizzate viene effettuato tramite la seguente formula:

$$\Delta p_l = \xi \cdot \rho_a \cdot \frac{v^2}{2} [\text{Pa}]$$

Si sono assunti i seguenti valori per i coefficienti di perdita localizzata adimensionale ξ :

$\xi = 1.0$ per l'aspirazione;

$\xi = 0.8$ per la mandata;

$\xi = 0.8$ per restringimento/allargamento sezione del canale;

$\xi = 0.8$ per raccordo canale circolare-rettangolare;

$\xi = 0.6$ per griglia di protezione;

$\xi = 1.0$ per curve a 90°;

$\xi = 0.8$ per curve a 45°;

$\xi = 0.5$ per la riduzione/allargamento della sezione porta aperta e la via di fuga protetta;

$\xi = 50$ per la riduzione/allargamento della sezione tra la serranda tagliafuoco e il filtro a prova di fumo;

Per le serrande di sovrappressione e le serrande tagliafuoco sono state considerate perdite di carico fornite dalle ditte produttrici.

La densità dell'aria è stata assunta pari a $\rho_a = 1.2 \text{ kg/m}^3$, la velocità dell'aria è stata calcolata tramite la seguente relazione:

$$v = \frac{Q}{S} \text{ [m/s]}$$

Dove Q rappresenta la portata dell'aria [m^3/s] e S la sezione del canale [m^2].

Il calcolo delle perdite di carico distribuite viene effettuato tramite la seguente formula:

$$\Delta p_d = \lambda \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \rho_a \cdot \frac{v^2}{2} \text{ [Pa]}$$

Dove L è la lunghezza totale del canale [m], D_h è il diametro idraulico della condotta [m].

Il coefficiente adimensionale λ è stato calcolato tramite una relazione semplificata (sviluppata da Altshul e Tal) della formula di Colebrook:

$$\lambda^* = 0.11 \cdot \left(\frac{k}{D_h} + \frac{68}{Re} \right)^2$$

se $\lambda^* \geq 0.018 \rightarrow \lambda = \lambda^*$

se $\lambda^* < 0.018 \rightarrow \lambda = 0.85 \cdot \lambda^* + 0.0028$

Dove k è la rugosità assoluta della parete interna, che vale $k = 1 \text{ mm}$ per il canale in lamiera, $k = 2 \text{ mm}$ per il cunicolo di sicurezza in calcestruzzo, D_h è il diametro idraulico della condotta o via di fuga [m], ed il numero di Reynolds è calcolato tramite la seguente relazione:

$$Re = \frac{\rho_a \cdot D_h \cdot v}{\mu_a}$$

Dove μ_a è la viscosità dinamica dell'aria $\mu_a = 1.84 \cdot 10^{-5}$ [Pa/s].

Nelle tabelle sottostanti si riportano i calcoli delle perdite di carico ottenute nei tre scenari di incendio previsti per i ventilatori installati in corrispondenza dei filtri a prova di fumo e per il ventilatore installato in posizione esterna per la pressurizzazione del cunicolo di sicurezza:

- Ventilatori filtri a prova di fumo

- Fase di emergenza – scenario n. 1.1: n.2 porte del filtro chiuse.

Tabella 2: Risultati prevalenza fase di emergenza – scenario 1.1

VEN_Filtro:Fase di emergenza - n.2 porte chiuse - scenario 1.1											Portata			2,34 m ³ /s			
Denominazione	Dati sezione						Dati canale					Densità dell'aria [kg/m ³]	Perdita [Pa]	N. elementi in serie	Perdita totale [Pa]		
	No.	Larghezza [m]	Altezza [m]	Raggio [m]	Diametro idr. [m]	Sezione [m ²]	Coeff. ξ	ruvidezza k [mm]	Coeff. λ	Lunghezza [m]	Re _D					Portata [m ³ /s]	Velocità [m/s]
Boccaglio di aspirazione con griglia	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	1,00	-	-	-	1,91E+05	2,34	3,66	1,20	8,0	1	8,0
Ventilatore	1			0,40		0,50					0,00E+00	2,34	4,66	1,20		1	
Raccordo canale circolare-rettangolare	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	0,80	-	-	-	1,91E+05	2,34	3,66	1,20	6,4	1	6,4
Plenum rettangolare	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	-	1	0,022	2,0	1,91E+05	2,34	3,66	1,20	0,4	1	0,44
Mandata	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	0,80	-	-	-	1,91E+05	2,34	3,66	1,20	6,4	1	6,4
Serranda tagliafuoco ventilatore	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	-	-	-	-	1,91E+05	2,34	3,66	1,20	6,0	1	6,0
Griglia di protezione	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	0,60	-	-	-	1,91E+05	2,34	3,66	1,20	4,8	1	4,8
ingresso filtro a prova di fumo	1	2,40	4,00	-	3,00	9,60	50,00	-	-	-	4,77E+04	2,34	0,24	1,20	1,8	1	1,8
filtro a prova di fumo	1	2,40	4,00	-	3,00	9,60	-	2,00	0,024	3,0	4,77E+04	2,34	0,24	1,20	0,001	1	0,001
filtro a prova di fumo	1	2,40	4,00	-	3,00	9,60	50,00	-	-	-	4,77E+04	2,34	0,24	1,20	1,8	1	1,8
Serranda sovrappressione uscita filtro	1	0,60	0,60	-	0,60	0,36	-	-	-	-	2,54E+05	2,34	6,50	1,20	50,0	1	50,0
Serranda tagliafuoco uscita filtro	1	0,60	0,60	-	0,60	0,36	-	-	-	-	2,54E+05	2,34	6,50	1,20	20,0	1	20,0
Riserva															26,4		26,4
Totale ΔP [Pa]:																	132,1

*dati forniti da costruttore

- Fase di evacuazione – scenario n. 1.2: n.2 porte del filtro aperte.

Tabella 3: Risultati prevalenza fase di evacuazione – scenario 1.2

VEN_Filtro:Fase di evacuazione - n. 2 porte aperte - scenario 1.2											Portata			3,78 m ³ /s			
Denominazione	Dati sezione						Dati canale					Densità dell'aria	Perdita	N. elementi in serie	Perdita totale		
	No.	Larghezza	Altezza	Raggio	Diametro idr.	Sezione	Coeff. ξ	ruvidezza k	Coeff. λ	Lunghezza	Re _D					Portata	Velocità
Boccaglio di aspirazione con griglia	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	1,00	-	-	-	3,08E+05	3,78	5,91	1,20	20,9	1	20,9
Ventilatore	1			0,40		0,50					0,00E+00	3,78	7,52	1,20		1	
Raccordo canale circolare-rettangolare	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	0,80	-	-	-	3,07E+05	3,78	5,88	1,20	16,6	1	16,6
Plenum rettangolare	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	-	1	0,022	2,0	3,07E+05	3,78	5,88	1,20	1,1	1	1,11
Mandata	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	0,80	-	-	-	3,07E+05	3,78	5,88	1,20	16,6	1	16,6
Serranda tagliafuoco ventilatore	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	-	-	-	-	3,07E+05	3,78	5,88	1,20	7,0	1	7,0
Griglia di protezione	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	0,60	-	-	-	3,07E+05	3,78	5,88	1,20	12,4	1	12,4
Riduzione porta rettangolare	1	1,20	2,10	-	1,53	2,52	0,50	-	-	-	1,49E+05	3,78	1,50	1,20	0,7	1	0,7
Riserva															18,8		18,8
Totale ΔP [Pa]:																	94,1

*dati forniti da costruttore

- Fase di spegnimento VVF – scenario n. 1.3: n.1 porta del filtro aperta.

Tabella 4: Fase di spegnimento VVF – scenario 1.3

VEN_Filtro:Fase di spegnimento VVF - n.1 porta aperta "effetto bolla" - scenario 1.3 Portata														5,04 m ³ /s				
Denominazione	Dati sezione						Dati canale							Densità dell'aria [kg/m ³]	Perdita [Pa]	N. elementi in serie	Perdita totale [Pa]	
	No.	Larghezza [m]	Altezza [m]	Raggio [m]	Diametro idr. [m]	Sezione [m ²]	Coeff. ξ	ruvidezza k [mm]	Coeff. λ	Lunghezza [m]	Re _D	Portata [m ³ /s]	Velocità [m/s]					
Boccaglio di aspirazione con griglia	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	1,00	-	-	-	4,11E+05	5,04	7,88	1,20	37,2	1	37,2	
Ventilatore	1			0,40		0,50		-	-		0,00E+00	5,04	10,03	1,20		1		
Raccordo canale circolare-rettangolare	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	0,80	-	-	-	4,10E+05	5,04	7,84	1,20	29,5	1	29,5	
Plenum rettangolare	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	-	1	0,021	2,0	4,10E+05	5,04	7,84	1,20	2,0	1	1,96	
Mandata	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	0,80	-	-	-	4,10E+05	5,04	7,84	1,20	29,5	1	29,5	
Serranda tagliafuoco ventilatore	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	-	-	-	-	4,10E+05	5,04	7,84	1,20	10,0	1	10,0	
Griglia di protezione	1	0,80	0,80	-	0,80	0,64	0,60	-	-	-	4,10E+05	5,04	7,84	1,20	22,1	1	22,1	
Riduzione porta rettangolare	1	1,20	2,10	-	1,53	2,52	0,50	-	-	-	1,99E+05	5,04	2,00	1,20	1,2	1	1,2	
Riserva															32,9		32,9	
Totale ΔP [Pa]:																164,3		

*dati forniti da costruttore

- Ventilatore cunicolo di sicurezza

- Fase di evacuazione da un filtro – scenario n. 2.1: n.2 porte del filtro aperte.

Tabella 5: Risultati prevalenza fase di evacuazione da un filtro – scenario 2.1

VEN_Cunicolo:Fase di evacuazione da un filtro - n. 2 porte aperte - scenario 2.1														Portata					3,78 m ³ /s				
Denominazione	Dati sezione						Dati canale							Densità dell'aria [kg/m ³]	Perdita [Pa]	N. elementi in serie	Perdita totale [Pa]						
	No.	Larghezza [m]	Altezza [m]	Raggio [m]	Diametro idr. [m]	Sezione [m ²]	Coeff. ξ	ruvidezza k [mm]	Coeff. λ	Lunghezza [m]	Re _D	Portata [m ³ /s]	Velocità [m/s]										
Boccaglio di aspirazione con griglia	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	-	-	-	2,47E+05	3,78	3,78	1,20	8,6	1	8,6						
Ventilatore	1				0,50		0,79	-	-	-	0,00E+00	3,78	4,81	1,20		1							
Mandata	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	0,80	-	-	-	2,47E+05	3,78	3,78	1,20	6,9	1	6,9						
Raccordo canale circolare-rettangolare	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	0,80	-	-	-	2,47E+05	3,78	3,78	1,20	6,9	1	6,9						
Canale rettangolare	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	-	1	0,021	20,0	2,47E+05	3,78	3,78	1,20	3,6	1	3,56						
Curva a 90°	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	-	-	-	2,47E+05	3,78	3,78	1,20	8,6	4	34,3						
Curva a 45°	1	1,50	0,70	-	0,95	1,05	0,80	-	-	-	2,24E+05	3,78	3,60	1,20	6,2	2	12,4						
Allargamento sezione	1	1,50	0,70	-	0,95	1,05	0,80	-	-	-	2,24E+05	3,78	3,60	1,20	6,2	2	12,4						
Canale rettangolare	1	1,50	0,70	-	0,95	1,05	-	1	0,021	5,0	2,24E+05	3,78	3,60	1,20	0,9	1	0,86						
Plenum con Griglia di protezione	1	1,50	0,70	-	0,95	1,05	0,60	-	-	-	2,24E+05	3,78	3,60	1,20	4,7	1	4,7						
ingresso via di fuga	1	2,40	2,50	-	2,45	6,00	50,00	-	-	-	1,01E+05	3,78	0,63	1,20	11,9	1	11,9						
via di fuga	1	2,40	2,50	-	2,45	6,00	-	2,00	0,022	630,0	1,01E+05	3,78	0,63	1,20	1,32	1	1,32						
Curve via di fuga	1	2,40	2,50	-	2,45	6,00	1,00	-	-	-	1,01E+05	3,78	0,63	1,20	0,2	6	1,4						
uscita via di fuga	1	2,40	2,50	-	2,45	6,00	50,00	-	-	-	1,01E+05	3,78	0,63	1,20	11,9	1	11,9						
Serranda sovrappressione ingresso cunicolo	2	0,40	1,50	-	0,63	0,60	-	-	-	-	1,30E+05	1,89	3,15	1,20	25,0	1	25,0						
ingresso cunicolo di sicurezza	1	3,60	3,20	-	3,39	11,52	50,00	-	-	-	7,25E+04	3,78	0,33	1,20	3,2	1	3,2						
cunicolo di sicurezza	1	3,60	3,20	-	3,39	11,52	-	2,00	0,022	20,0	7,25E+04	3,78	0,33	1,20	0,008	1	0,008						
Curve cunicolo di sicurezza	1	3,60	3,20	-	3,39	11,52	1,00	-	-	-	7,25E+04	3,78	0,33	1,20	0,1	2	0,1						
uscita cunicolo di sicurezza	1	3,60	3,20	-	3,39	11,52	50,00	-	-	-	7,25E+04	3,78	0,33	1,20	3,2	1	3,2						
Riserva															16,4		16,4						
Totale ΔP [Pa]:																165,1							

*dati forniti da costruttore

- Fase di evacuazione da due filtri – scenario n. 2.2: n.4 porte dei filtri aperte.

Tabella 6: Risultati prevalenza fase di evacuazione da due filtri – scenario 2.2

VEN_Cunicolo:Fase di evacuazione da due filtri - n. 4 porte aperte - scenario 2.2							Portata 7,56 m ³ /s										
Denominazione	Dati sezione						Dati canale						Densità dell'aria [kg/m ³]	Perdita [Pa]	N. elementi in serie	Perdita totale [Pa]	
	No.	Larghezza [m]	Altezza [m]	Raggio [m]	Diametro idr. [m]	Sezione [m ²]	Coeff. ξ	ruvidezza k [mm]	Coeff. λ	Lunghezza [m]	Re _D	Portata [m ³ /s]					Velocità [m/s]
Boccaglio di aspirazione con griglia	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	-	-		4,93E+05	7,56	7,56	1,20	34,3	1	34,3
Ventilatore	1			0,50		0,79		-	-		0,00E+00	7,56	9,63	1,20		1	
Mandata	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	0,80	-	-		4,93E+05	7,56	7,56	1,20	27,4	1	27,4
Raccordo canale circolare-rettangolare	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	0,80	-	-		4,93E+05	7,56	7,56	1,20	27,4	1	27,4
Canale rettangolare	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	-	1	0,020	20,0	4,93E+05	7,56	7,56	1,20	13,9	1	13,86
Curva a 90°	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	-	-		4,93E+05	7,56	7,56	1,20	34,3	4	137,2
Curva a 45°	1	1,50	0,70	-	0,95	1,05	0,80	-	-		4,48E+05	7,56	7,20	1,20	24,9	2	49,8
Allargamento sezione	1	1,50	0,70	-	0,95	1,05	0,80	-	-		4,48E+05	7,56	7,20	1,20	24,9	2	49,8
Canale rettangolare	1	1,50	0,70	-	0,95	1,05	-	1	0,020	5,0	4,48E+05	7,56	7,20	1,20	3,3	1	3,34
Plenum con Griglia di protezione	1	1,50	0,70	-	0,95	1,05	0,60	-	-		4,48E+05	7,56	7,20	1,20	18,7	1	18,7
Ingresso via di fuga	1	2,40	2,50	-	2,45	6,00	50,00	-	-		2,01E+05	7,56	1,26	1,20	47,6	1	47,6
via di fuga	1	2,40	2,50	-	2,45	6,00	-	2,00	0,020	630,0	2,01E+05	7,56	1,26	1,20	4,97	1	4,97
Curve via di fuga	1	2,40	2,50	-	2,45	6,00	1,00	-	-		2,01E+05	7,56	1,26	1,20	1,0	6	5,7
uscita via di fuga	1	2,40	2,50	-	2,45	6,00	50,00	-	-		2,01E+05	7,56	1,26	1,20	47,6	1	47,6
Serranda sovrappressione ingresso cunicolo	2	0,40	1,50	-	0,63	0,60	-	-	-		2,59E+05	3,78	6,30	1,20	50,0	1	50,0
ingresso cunicolo di sicurezza	1	3,60	3,20	-	3,39	11,52	50,00	-	-		1,45E+05	7,56	0,66	1,20	12,9	1	12,9
cunicolo di sicurezza	1	3,60	3,20	-	3,39	11,52	-	2,00	0,020	20,0	1,45E+05	7,56	0,66	1,20	0,030	1	0,030
Curve cunicolo di sicurezza	1	3,60	3,20	-	3,39	11,52	1,00	-	-		1,45E+05	7,56	0,66	1,20	0,3	2	0,5
uscita cunicolo di sicurezza	1	3,60	3,20	-	3,39	11,52	50,00	-	-		1,45E+05	7,56	0,66	1,20	12,9	1	12,9
Riserva															58,0		58,0
Totale ΔP [Pa]:																602,0	

*dati forniti da costruttore

- Fase di spegnimento VVF – scenario n.2.3: n.1 porta del filtro aperta.

Tabella 7: Fase di spegnimento VVF – scenario 2.3

VEN_Cunicolo:Fase di spegnimento VVF - n.1 porta aperta "effetto bolla" - scenario 2.3							Portata 5,04 m ³ /s										
Denominazione	Dati sezione						Dati canale						Densità dell'aria [kg/m ³]	Perdita [Pa]	N. elementi in serie	Perdita totale [Pa]	
	No.	Larghezza [m]	Altezza [m]	Raggio [m]	Diametro idr. [m]	Sezione [m ²]	Coeff. ξ	ruvidezza k [mm]	Coeff. λ	Lunghezza [m]	Re _D	Portata [m ³ /s]					Velocità [m/s]
Boccaglio di aspirazione con griglia	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	-	-		3,29E+05	5,04	5,04	1,20	15,2	1	15,2
Ventilatore	1			0,50		0,79	1,00	-	-		0,00E+00	5,04	6,42	1,20		1	
Mandata	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	0,80	-	-		3,29E+05	5,04	5,04	1,20	12,2	1	12,2
Raccordo canale circolare-rettangolare	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	0,80	-	-		3,29E+05	5,04	5,04	1,20	12,2	1	12,2
Canale rettangolare	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	-	1	0,021	20,0	3,29E+05	5,04	5,04	1,20	6,2	1	6,25
Curva a 90°	1	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	-	-		3,29E+05	5,04	5,04	1,20	15,2	4	61,0
Curva a 45°	1	1,50	0,70	-	0,95	1,05	0,80	-	-		2,99E+05	5,04	4,80	1,20	11,1	2	22,1
Allargamento sezione	1	1,50	0,70	-	0,95	1,05	0,80	-	-		2,99E+05	5,04	4,80	1,20	11,1	2	22,1
Canale rettangolare	1	1,50	0,70	-	0,95	1,05	-	1	0,021	5,0	2,99E+05	5,04	4,80	1,20	1,5	1	1,51
Plenum con Griglia di protezione	1	1,50	0,70	-	0,95	1,05	0,60	-	-		2,99E+05	5,04	4,80	1,20	8,3	1	8,3
ingresso via di fuga	1	2,40	2,50	-	2,45	6,00	50,00	-	-		1,34E+05	5,04	0,84	1,20	21,2	1	21,2
via di fuga	1	2,40	2,50	-	2,45	6,00	-	2,00	0,021	630,0	1,34E+05	5,04	0,84	1,20	2,29	1	2,29
Curve via di fuga	1	2,40	2,50	-	2,45	6,00	1,00	-	-		1,34E+05	5,04	0,84	1,20	0,4	6	2,5
uscita via di fuga	1	2,40	2,50	-	2,45	6,00	50,00	-	-		1,34E+05	5,04	0,84	1,20	21,2	1	21,2
Serranda sovrappressione ingresso cunicolo	2	0,40	1,50	-	0,63	0,60	-	-	-		1,73E+05	2,52	4,20	1,20	35,0	1	35,0
ingresso cunicolo di sicurezza	1	3,60	3,20	-	3,39	11,52	50,00	-	-		9,67E+04	5,04	0,44	1,20	5,7	1	5,7
cunicolo di sicurezza	1	3,60	3,20	-	3,39	11,52	-	2,00	0,021	20,0	9,67E+04	5,04	0,44	1,20	0,014	1	0,014
Curve cunicolo di sicurezza	1	3,60	3,20	-	3,39	11,52	1,00	-	-		9,67E+04	5,04	0,44	1,20	0,1	2	0,2
uscita cunicolo di sicurezza	1	3,60	3,20	-	3,39	11,52	50,00	-	-		9,67E+04	5,04	0,44	1,20	5,7	1	5,7
Riserva															27,7		27,7
Totale ΔP [Pa]:																282,5	

*dati forniti da costruttore

4.1.4. Risultati del dimensionamento dei ventilatori

Nella tabella sottostante si riassumono le portate e le perdite di carico ottenute nei diversi scenari:

Tabella 8: Risultati finali ventilatori filtri a prova di fumo

Scenario	Portata	Prevalenza	Potenza elettrica Ventilatore
Fase di emergenza – scenario n. 1.1: n.2 porte <u>chiuse</u>	2,34 m ³ /s	132,5 Pa	2,7 kW
Fase di evacuazione – scenario n. 1.2: n.2 porte <u>aperte</u>	3,78 m ³ /s	95,0 Pa	
Fase di spegnimento VVF – scenario n. 1.3: n.1 porta <u>aperta</u>	5,04 m ³ /s	165,0 Pa	

Tabella 9: Risultati finali ventilatore cunicolo di sicurezza

Scenario	Portata	Prevalenza	Potenza elettrica Ventilatore
Fase di evacuazione da un filtro – scenario n. 2.1: n.2 porte <u>aperte</u>	3,78 m ³ /s	165,5 Pa	13,2 kW
Fase di evacuazione da due filtri– scenario n. 2.2: n.4 porte <u>aperte</u>	7,56 m ³ /s	602,0 Pa	
Fase di spegnimento VVF – scenario n. 2.3: n.1 porta <u>aperta</u>	5,04 m ³ /s	282,5 Pa	

I ventilatori dei filtri a prova di fumo e del cunicolo di sicurezza saranno dotati di inverter per poter ottenere tutti i punti di funzionamento necessari per gli scenari illustrati.

5. IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE GALLERIA

La galleria Felettino I è costituita da un fornice della lunghezza di circa 777 metri, percorso da traffico bidirezionale, su una corsia per senso di marcia. La galleria, nonostante abbia lunghezza inferiore a 1000 m, sarà dotata di un impianto di ventilazione meccanica di tipo longitudinale, poiché la pendenza della galleria è superiore al 3%, in accordo con il capitolo 3.3.2.2.3 delle Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali ANAS (2009).

In esercizio normale (ventilazione sanitaria) l'impianto di ventilazione deve diluire, nella peggiore condizione di traffico stimata, le concentrazioni di inquinanti (monossido di carbonio e fumi) che possano creare danno alla salute degli utenti o ridurre in misura eccessiva la visibilità, mantenendo le concentrazioni al di sotto dei limiti stabiliti dalle norme e raccomandazioni internazionali del settore ventilazione.

Nel caso di incendio (ventilazione in emergenza), l'impianto di ventilazione deve adempiere al controllo della propagazione dei fumi ed all'evacuazione degli stessi dalla galleria.

Il costante aggiornamento del parco veicoli circolante ed il conseguente abbassamento delle emissioni inquinanti dei veicoli, ha ridotto l'impatto della ventilazione sanitaria; il fattore predominante per l'impianto di ventilazione in galleria è pertanto legato alle funzionalità in caso di emergenza

5.1. DIMENSIONAMENTO

La scelta del sistema di ventilazione più adeguato per una galleria è dettata da molteplici fattori, in accordo con le Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali ANAS (2009):

- le caratteristiche architettoniche della struttura e del tracciato stradale: lunghezza della galleria, area della sezione trasversale, andamento altimetrico della galleria;
- le condizioni meteo-climatiche prevalenti sul sito;
- la tipologia di traffico (unidirezionale o bidirezionale);
- la composizione del traffico: parco veicolare, % veicoli pesanti, volume di traffico equivalente, frequenza di regime di traffico congestionato.

Dal punto di vista geometrico e dei dati di traffico, la galleria presenta le caratteristiche riportate nella seguente tabella:

Tabella 10: Dati geometrici galleria Felettino I

DATI GALLERIA FELETTINO I	
NUMERO DI FORNICI	1
NUMERO DI CORSIE	2
LUNGHEZZA GALLERIA	777,28 m

ALTEZZA MEDIA DEL TUNNEL	8,10 m
AREA SEZIONE GALLERIA	83,8 m ²
DIAMETRO IDRAULICO	9,51 m
PERIMETRO	35,25 m
DIFFERENZA DI QUOTA TRA I PORTALI	25,6 m
PENDENZA	± 3,29 %
%VEICOLI PESANTI	29%

Tabella 11: Condizioni ambientali galleria Felettino I

CONDIZIONI AMBIENTALI	
Altitudine media del tunnel	60 m s.l.m.
Temperatura dell'aria standard interna	15 °C
Densità dell'aria	1,21 kg/m ³
Concentrazione CO ambiente	5 ppm

Il costante aggiornamento del parco veicoli circolante ed il conseguente abbassamento delle emissioni inquinanti dei veicoli, riduce l'impatto della ventilazione sanitaria sul dimensionamento dell'impianto, il fattore predominante per il dimensionamento è pertanto legato alle funzionalità in caso di emergenza.

Infatti, durante un incendio vengono liberati nell'ambiente fumo, gas di combustione e calore. In queste situazioni anche se la temperatura viene mitigata, i gas prodotti durante la combustione mantengono inalterata la loro tossicità, inficiando fortemente l'incolumità degli utenti, inoltre riducendo la visibilità impediscono agli utenti di raggiungere agevolmente le uscite della galleria.

Il sistema di ventilazione è dimensionato per mezzo del calcolo della "velocità critica" nelle diverse condizioni di funzionamento previste in alcuni scenari di emergenza, in presenza di incendio.

La velocità critica determina la minima velocità dell'aria che i ventilatori devono poter sviluppare, per un determinato incendio e per una determinata sezione di galleria, per vincere la corrente di propagazione all'indietro dei fumi (controflusso o backlayering) rispetto alla direzione del traffico, mettendo in pregiudizio la sicurezza degli utenti.

La velocità critica è stata calcolata secondo la normativa NFPA 502 "Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways".

5.1.1. Ventilazione sanitaria – condizioni di esercizio

In condizione di esercizio l'impianto di ventilazione deve generare una portata d'aria tale da diluire gli inquinanti emessi dai veicoli che transitano all'interno della galleria sino ai livelli raccomandati.

5.1.1.1 Condizioni di traffico ipotizzate

Al fine della definizione delle portate di inquinanti emesse, si è proceduto indagando sulle diverse condizioni di traffico con cui i veicoli attraversano il fornice, quali traffico fluido, congestionato e bloccato.

- traffico fluido, congestionato, bloccato: dati dedotti dalle raccomandazioni PIARC 2019, adottando il valore 12 come fattore dell'ora di punta (traffico bidirezionale).

Tabella 12: Condizioni di traffico per corsia per "tunnel urbano" (da PIARC 2019)

Traffico bidirezionale	Bloccato	Congestionato	Fluido
Velocità	0 km/h	10 km/h	60 km/h
Flusso [pcu ¹ /h]	0	850	1.500
Densità [pcu ¹ /km]	165	85	25

¹ pcu = *passenger car unit* – veicolo equivalente:

n° pcu = n° VL + 2 * n° VP (in traffico fluido);

n° pcu = n° VL + 3 * n° VP (in traffico lento e pendenze elevate).

5.1.1.2 Valori limite di concentrazione degli inquinanti

I valori limite per la concentrazione degli inquinanti assunti derivano dalla pubblicazione PIARC 2019, essi sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 13: Soglia di concentrazione degli inquinanti - (PIARC 2019)

Condizioni di traffico	CO [ppm]	Opacità: coefficiente di estinzione [m-1]
fluido	70	0,005
congestionato / bloccato	70	0,007

5.1.1.3 Composizione del parco veicoli

Ad incidere sulla produzione di inquinanti è la composizione media del parco veicoli; per il dimensionamento in esame si è proceduto adottando dei dati previsionali cautelativi, stimati a partire dai dati pubblicati dall'ACI (Automobile Club Italia), così composti:

- suddivisione del parco veicoli leggeri per alimentazione benzina e diesel al 50% - 50%;
- indice di peso di riferimento per il parco veicoli pesanti pari a 10t – 10%, 20t – 30%, 30t – 60% (la massa media dei veicoli pesanti è considerata pari a 23 t);
- composizione del parco veicoli per normative di emissione: si è assunto quanto indicato all'interno della pubblicazione PIARC 2019.

5.1.1.4 *Calcolo delle emissioni e delle portate di aria per la ventilazione sanitaria*

La quantità di inquinanti da diluire è stata calcolata secondo le indicazioni riportate nella pubblicazione PIARC 2019.

Fabbisogno di aria di rinnovo per il CO (monossido di carbonio)

Per la determinazione del fabbisogno d'aria fresca per diluire il CO, si è usata la seguente formula:

$$Q_{CO} = \frac{q_{CO(v,i)} \times f_h \times f_t \times f_m + q_{ne}(v)}{3600} \times D \times \frac{10^6}{CO_{lim} - CO_{amb}} \times L$$

- Q_{CO} portata aria fresca per diluire il CO (monossido di carbonio) [m³/s],
- $q_{CO(v,i)}$ emissione base per autoveicolo di CO [m³/ora veicolo], in funzione della velocità v e della pendenza i,
- f_h coefficiente di altitudine,
- f_t coefficiente di influenza per gli altri anni,
- f_m coefficiente di massa per i veicoli pesanti,
- $q_{ne(v,i)}$ fattore di emissione di particolato non originato dallo scappamento [m²/ora veic],
- D numero di veicoli in galleria [veicoli/km],
- CO_{lim} concentrazione ammissibile di CO [ppm],
- CO_{amb} concentrazione ambiente di CO [ppm],
- L lunghezza della galleria [km].

Fabbisogno di aria di rinnovo per l'opacità

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire i fumi, si è usata la seguente formula:

$$Q_F = \frac{q_F(v,i) \times f_h \times f_t \times f_m + q_{ne}(v)}{3600} \times D \times \frac{1}{K_{lim}} \times L$$

- Q_F portata aria fresca per diluire i fumi [m³/s],
- $q_F(v,i)$ emissione base di fumi [m²/ora veic], in funzione della velocità v e della pendenza i,
- f_h coefficiente di altitudine,

- f_t coefficiente di influenza per gli altri anni,
- f_m coefficiente di massa per i veicoli pesanti,
- $q_{ne(v,i)}$ fattore di emissione di particolato non originato dallo scappamento [$m^2/ora\ veic$],
- D numero di veicoli in galleria [veicoli/km],
- K_{lim} coefficiente di estinzione fumi [m^{-1}],
- L lunghezza della galleria [km].

5.1.1.5 *Calcolo delle perdite di carico*

Per la determinazione della spinta necessaria a movimentare l'aria della galleria, che dovrà essere generata dagli acceleratori, occorre tenere in conto anche di opportune perdite di carico.

Perdite dovute alle resistenze della galleria

Per calcolare la resistenza della galleria, si è utilizzata la seguente relazione:

$$R_g = \left(\alpha + \beta + \lambda \times \frac{L}{D_h} \right) \times \frac{\rho \times V_g^2}{2}$$

- R_g resistenza della galleria [Pa],
- α coefficiente di perdita all'entrata,
- β coefficiente di perdita all'uscita,
- λ coefficiente d'attrito delle pareti della galleria,
- D_h diametro idraulico [m],
- ρ massa volumica [kg/m^3],
- V_g velocità dell'aria in galleria [m/s],
- L lunghezza della galleria [km].

Perdite dovute all'effetto pistone

L'effetto pistone può essere una resistenza negativa o positiva, in funzione della concordanza o meno tra la direzione del flusso veicolare e quello dell'aria in galleria, oppure se la velocità del traffico è inferiore alla velocità dell'aria in galleria. Esso si esprime per mezzo della seguente formula:

$$R_p = \sum_{i=1}^2 C_i \times n_i \times \frac{(C_x \times \Omega)_i}{A_t} \times \frac{\delta \times (V_i + \mu \times V_g)^2}{2}$$

- R_p resistenza per effetto pistone [Pa],
- $i=1$ valori riferiti ad autoveicoli leggeri,

- $i=2$ valori riferiti a mezzi pesanti,
- ε_i coefficiente pari a +1 od a -1 in funzione della direzione del traffico (uguale o contrario al senso della ventilazione), oppure se $V_i > V_g$ o $V_i < V_g$,
- n_i numero dei veicoli presenti in galleria;
- $(C_x \Omega)_i$ area resistente dei veicoli (area frontale corretta dal coefficiente di penetrazione) [m²],
- A_t area del tunnel [m²],
- ρ densità dell'aria [m³/kg]
- $\mu = +1$ per i veicoli che viaggiano in senso contrario rispetto alla ventilazione,
- $\mu = -1$ per i veicoli che viaggiano nello stesso senso della ventilazione,
- V_i velocità dei veicoli [m/s]
- V_g velocità dell'aria in galleria [m/s].

Perdite dovute all'effetto meteorologico

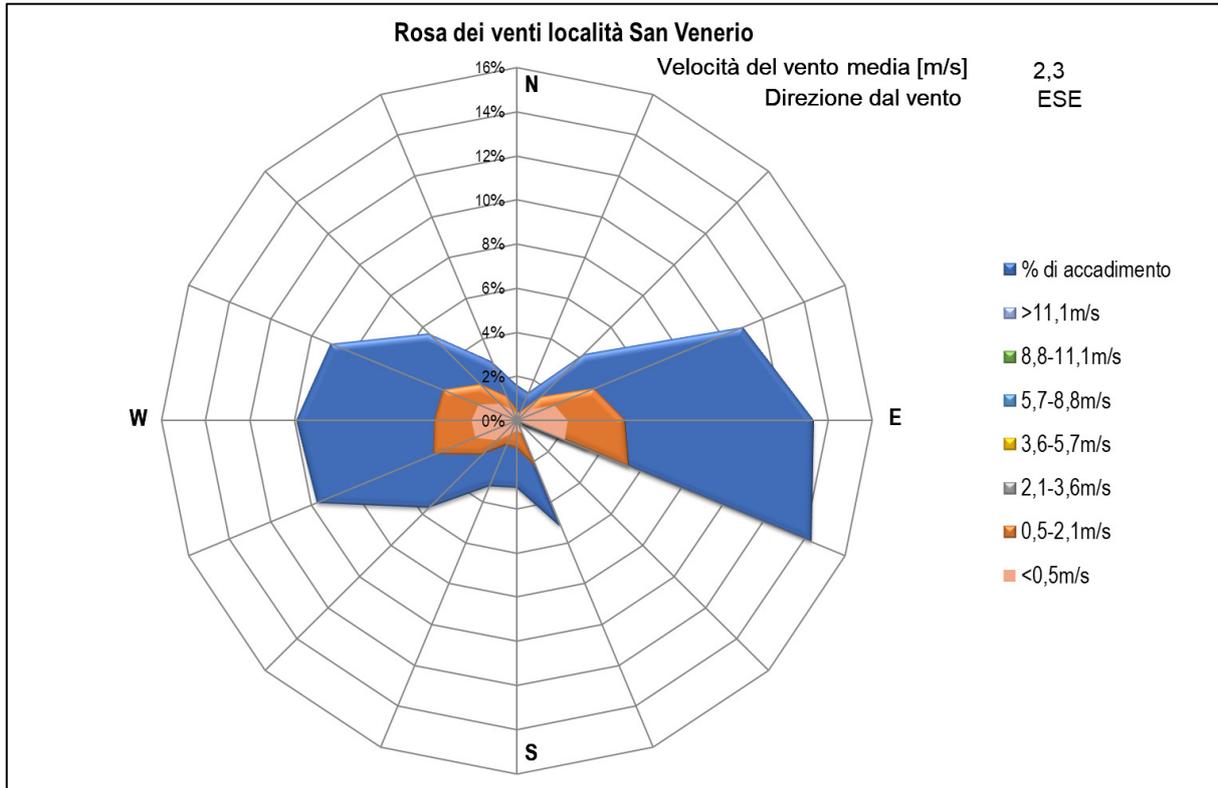
L'effetto meteorologico concerne il contributo legato ai dati di vento, il quale è stato quantificato attraverso il software Meteonorm (worldwide irradiation data <https://meteonorm.com/en/>).

Meteonorm è uno strumento di calcolo che fornisce l'accesso a dati metereologici di anni tipici e serie storiche affidabili.

I dati metereologici relativi all'intensità e alla direzione del vento vengono elaborati con riferimento agli imbocchi dei forni presi in considerazione.

Le direttive francesi (Annexe II) e austriache (RVS 09.02.31) richiedono di applicare la velocità del vento nel percentile di 95%, vale a dire il valore che viene superato soltanto durante 5% del tempo.

Si riporta di seguito la rosa dei venti della località San Venerio relativa agli ultimi cinque anni:



Analizzando i dati inerenti agli ultimi 5 anni (2019-2015), la velocità del vento nel percentile di 95% è risultata pari a circa 6,4 m/s.

Per avere del margine cautelativo sulla contropressione esercitata al portale i valori sono stati incrementati del 10% fino a 7,1 m/s, corrispondenti ad una velocità del vento di circa 25 km/h.

Per la galleria Fellettino I è stata considerata quindi una spinta dovuta all'effetto meteorologico del vento, in direzione opposta alla spinta dei ventilatori, pari a:

$$\Delta p_{vento} = \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = \frac{1,196}{2} \cdot 7,1^2 \cong 30 \text{ Pa}$$

5.1.2. Ventilazione in caso di incendio – condizione di emergenza

La ventilazione in caso di incendio in galleria opera al fine del raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- sostenere la velocità longitudinale dell'aria al di sopra della velocità critica;
- controllare la propagazione dei fumi per evitare la destratificazione, in modo tale che i fumi restino confinati in volta alla galleria;
- mantenere la temperatura sufficientemente bassa per consentire l'esodo e l'accesso dei soccorsi e la visibilità entro valori accettabili per consentire l'evacuazione della galleria.

Come scenario di riferimento per le valutazioni dell'impianto in condizioni di emergenza si è considerato un focolaio innescato da un mezzo pesante per trasporto merci combustibili ed in accordo con le pubblicazioni PIARC, si è fissata una potenza termica di progetto pari a 30 MW.

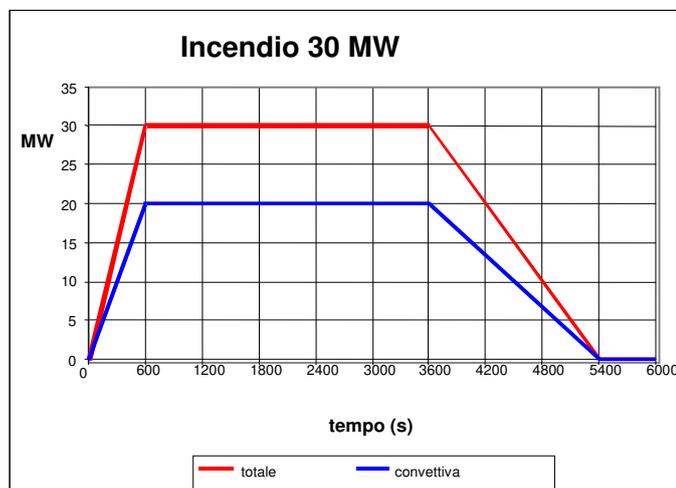


Figura 4: Potenza termica pari a 30 MW

Per descrivere l'evoluzione dell'incendio, ossia l'andamento della potenza termica rilasciata dal veicolo in fiamme al passare del tempo, si è difatti assunta la curva proposta nella guida francese "les études spécifiques des dangers pour les tunnels du réseau routier", secondo la quale il valore di 30 MW corrisponde alla potenza termica rilasciata dall'incendio di un camion, carico di 10 t di merce moderatamente combustibile.

Definizione degli scenari di incendio

Per lo studio della ventilazione oggetto del seguente documento, si sono definiti 3 tipi di scenari incidentali:

- incendio in prossimità dell'entrata della galleria;
- incendio in zona interna;
- incendio in prossimità dell'uscita della galleria.

5.1.2.1 *Calcolo della velocità critica*

La velocità critica rappresenta la velocità alla quale la miscela aria fumo può invertire il suo andamento ed invadere la zona della galleria, che si vuole mantenere protetta, mediante la ventilazione meccanica. I veicoli che restano fermi a monte dell'incendio risultano protetti dal flusso dell'aria, che spinge nel verso del traffico, se il flusso dell'aria ha una velocità longitudinale sufficiente ad evitare, per effetto dei moti convettivi dovuti all'incendio, il fenomeno del ritorno dei fumi verso i veicoli fermi (fenomeno di backlayering).

Per il calcolo della velocità critica si è utilizzata l'equazione ricavata dall'allegato D della normativa NFPA 502:



[D.1]

$$\frac{u}{\sqrt{gH}} = \begin{cases} 0.81 \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_a C_p T_a g^{1/2} H^{5/2}} \right)^{1/3} \left(\frac{H}{W} \right)^{1/12} e^{\left(-\frac{L_b}{18.5H} \right)}, & \frac{\dot{Q}}{\rho_a C_p T_a g^{1/2} H^{5/2}} \leq 0.15 \left(\frac{H}{W} \right)^{-1/4} \\ 0.43 e^{\left(-\frac{L_b}{18.5H} \right)}, & \frac{\dot{Q}}{\rho_a C_p T_a g^{1/2} H^{5/2}} > 0.15 \left(\frac{H}{W} \right)^{-1/4} \end{cases}$$

- u velocità critica (m/s),
- L_b lunghezza di backlayering [m], dove L_b = 0 definisce la velocità critica (nessun backlayering di fumo) e L_b ≠ 0 definisce la velocità di confinamento (velocità corrispondente alla lunghezza di backlayering controllata),
- Q calore totale rilasciato dall'incendio (HRR heat release rate) [kW],
- g accelerazione di gravità [m/s²],
- H altezza della galleria [m],
- W larghezza della galleria [m],
- C_p calore specifico dell'aria ambiente [kJ/kg K]
- ρ_a densità dell'aria ambiente [kg/m³]
- T_a temperatura dell'aria ambiente [K].

Infine, per tenere conto della pendenza del tunnel la velocità critica dovrà essere moltiplicata per K_g (fattore relativo alla pendenza del tunnel) determinato attraverso la seguente figura:

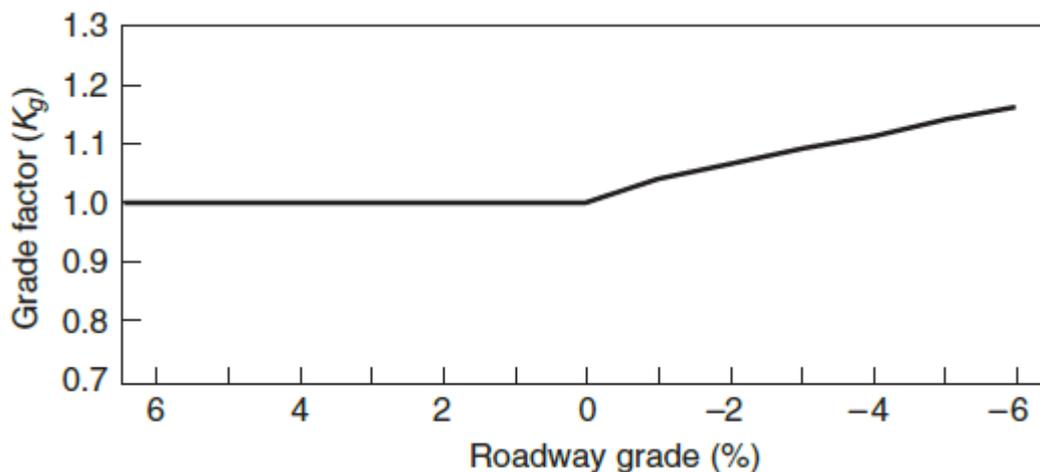


Figura 5: Fattore di pendenza del tunnel (K_g) per la determinazione della velocità critica (da figura D.1 Annex D NFPA 502)

La velocità critica u_c sarà quindi ricavata dalla seguente formula:

$$u_c = u \cdot K_g$$

Nel calcolo della velocità critica, l'influenza della pendenza sulla propagazione dei fumi è determinante, in quanto quando il fornice è in discesa nel verso di percorrenza dei veicoli si deve contrastare la maggiore tendenza che i fumi hanno nel risalire verso il portale a quota maggiore.

5.1.2.2 *Calcolo delle perdite di carico per effetto camino*

Le perdite di carico che la ventilazione di emergenza dovrà vincere, per assicurare la prestazione richiesta, sono le stesse già considerate per la ventilazione sanitaria, alle quali viene aggiunta la perdita indotta dall'effetto camino che si instaura in caso di incendio.

$$E_c = g \times \Delta h \times (\rho_a - \rho_i) \times \eta$$

- E_c perdita per effetto camino Pa,
- g costante di gravità,
- Δh differenza di quota tra i due imbocchi,
- ρ_a densità dell'aria all'esterno della galleria,
- ρ_i densità dell'aria nella zona dell'incendio,
- η rendimento del focolaio di incendio.

5.1.3 *Risultati del dimensionamento dei ventilatori*

Per il dimensionamento dell'impianto di ventilazione longitudinale, nel caso di funzionamento normale (ventilazione sanitaria), si è determinata la portata di aria fresca necessaria per diluire gli agenti inquinanti presenti nella galleria nelle peggiori condizioni di traffico. Successivamente si è calcolata la resistenza al flusso dell'aria causata dal passaggio dello stesso all'interno della galleria. Nota infine la spinta generata da un singolo ventilatore si è potuto determinare il numero di acceleratori necessari ad indurre la portata d'aria richiesta.

Per la verifica dell'impianto di ventilazione longitudinale, nel caso di incendio (ventilazione in emergenza) si è calcolata la portata minima da indurre all'interno della galleria per evitare il backlayering dei fumi. Calcolata la resistenza al flusso dell'aria causata dal passaggio dello stesso all'interno della galleria si è potuto dedurre il numero di acceleratori necessari per garantire il controllo dei fumi e l'evacuazione in sicurezza dalla galleria.

Per quel che concerne le caratteristiche degli acceleratori, essendo la spinta nominale riferita ad un funzionamento in aria libera del ventilatore, in condizioni standard di densità, per la definizione della spinta reale prodotta da ciascun ventilatore si è tenuto in considerazione di:

- rendimento di installazione dei ventilatori, nel presente calcolo ipotizzato pari a 80%, il quale tiene conto della distanza asse ventilatore-volta;
- fattore di spinta legato alla densità dell'aria che decresce con l'altitudine della galleria e con la temperatura dell'aria.

5.1.3.1 Ventilazione sanitaria – condizioni di esercizio

In seguito all'applicazione dei criteri di calcolo degli inquinanti emessi dai veicoli e della portata di aria necessaria per diluirli, per le diverse condizioni di traffico si sono ottenuti i risultati riportati nella seguente tabella:

Tabella 14: Ventilazione sanitaria - condizioni di esercizio

Traffico Unidirezionale	Bloccato		Congestionato		Fluido	
Velocità Traffico [km/h]	0		10		60	
Portata [m ³ /s]	CO	Opacità	CO	Opacità	CO	Opacità
	2	4	3	7	3	8
Velocità aria richiesta [m/s]	0,05		0,08		0,10	
Perdite [Pa]	30,0		30,3		30,7	
n° acceleratori minimi (da calcolo)	3,5		3,5		3,6	

In base ai contenuti della tabella soprastante, il numero di acceleratori necessari per la ventilazione sanitaria nelle condizioni più gravose è pari a 4.

5.1.3.2 Ventilazione in caso di incendio – condizioni di emergenza

In seguito all'applicazione dei criteri di calcolo della ventilazione in caso di incendio, per il caso di incendio con potenza pari a 30 MW, si sono ottenuti i risultati riportati nella seguente tabella:

Tabella 15: Ventilazione in caso di incendio - calcoli di verifica

Velocità critica [m/s]	3,51		
Posizione incendio [%]	25%	50%	75%
Perdite [Pa]	58,9	60,4	60,8
n° acceleratori minimi (da calcolo)	7,7	7,9	8,0

Il dimensionamento dell'impianto di ventilazione in caso di incendio è preponderante rispetto a quello della ventilazione sanitaria.

Dai calcoli di verifica eseguiti, considerando un incendio di potenza pari a 30 MW, si è constatato che lo scenario peggiore necessita di 8 acceleratori minimi per consentirne la corretta gestione.

Ai fini della gestione in sicurezza della galleria, considerando la possibilità che l'incendio comprometta l'utilizzo di due acceleratori, per la galleria di nuova realizzazione è stata pertanto prevista l'installazione di 2 acceleratori aggiuntivi, per un totale di 10 acceleratori.

Gli acceleratori saranno del tipo reversibile ed installati a doppia fila in volta, essi saranno installati conservando un'interdistanza fra le macchine idonea, per evitare che le turbolenze possano interferire sulle funzionalità dei ventilatori (come visibile negli elaborati grafici).

Tabella 16: Caratteristiche tecniche acceleratori

Dati acceleratori	
Numero acceleratori in galleria	10
Tipo	Reversibile
Diametro girante [mm]	1000 mm interni
Spinta [N]	900
Portata d'aria [m ³ /s]	24,5
Velocità aria in uscita [m/s]	30,5
Velocità di rotazione [giri/min]	1450
Resistenza al fuoco	400°C 2h
Potenza elettrica nominale	27 kW
Installazione	a doppia fila in volta

5.1.3.3 Analisi di sensitività a 100 MW

Per lo studio in esame è stata anche effettuata un'analisi di sensitività dell'impianto di ventilazione di emergenza, imponendo il particolare caso di incendio in galleria di potenza pari a 100 MW.

Tabella 17: Analisi di sensitività a 100 MW

Velocità critica [m/s]	4,18		
Posizione incendio [%]	25%	50%	75%
n° acceleratori	10	10	10
Velocità effettiva [m/s]	4,32	4,22	4,18

Per la galleria Felettino I, in presenza di un incendio di potenza pari a 100 MW, in corrispondenza dello scenario più gravoso, con l'attivazione di 10 macchine è possibile ottenere una velocità dell'aria pari a circa 4,18 m/s. Perciò in caso di incendio con potenza pari a 100 MW sarà necessario azionare tutte le macchine installate.

6. IMPIANTO DI VENTILAZIONE CABINA ELETTRICA DI TRASFORMAZIONE

L'impianto a servizio della zona destinata agli impianti elettrici è composto da estrattori d'aria, installati in copertura, nei locali misure, quadri elettrici, trasformatori e gruppo elettrogeno e da un impianto multi-split dotato di una unità esterna da 10 kW e due unità interne da 5 kW ciascuna, da posizionare in prossimità degli UPS. Le batterie degli UPS necessitano di una temperatura di lavoro pari a 25 °C, le altre apparecchiature elettriche installate necessitano di una temperatura di lavoro pari a 35°C. Lo scarico della condensa avviene all'esterno in apposito scolo.

Sono presenti delle sonde di temperatura per il controllo ambiente che consentono di azionare gli impianti in base alla necessità, è possibile aumentare la portata d'aria espulsa dagli estrattori in funzione della temperatura ambiente.

L'impianto multi-split è dimensionato sul carico termico sensibile sviluppato dagli UPS all'interno dell'ambiente, in modo che in corrispondenza di tali apparecchiature la temperatura dell'aria non superi i 25°C.

Il sistema di ventilazione è dimensionato per smaltire il calore prodotto durante il funzionamento di tutte le apparecchiature elettriche installate. Nel locale trasformatori il flusso d'aria che lambisce i dispositivi ha lo scopo di espellere il calore e raffreddare i trasformatori.

La portata d'aria è stata dimensionata utilizzando la formula riguardante la ventilazione forzata delle cabine elettriche che si trova all'interno del capitolo J.4.4.1 dell'allegato J della normativa CEI 99-4 "Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale" che è pari a:

$$Q = P \cdot 860 / (c_p \cdot \rho \cdot \Delta T)$$

Dove

- Q = portata d'aria in [m³/h];
- ΔT = differenza di temperatura tra ingresso e uscita dell'aria, supposta di 10 K;
- P = perdite totali da dissipare [kcal/h];
- ρ = densità dell'aria 1,13 [kg/m³] a 40 °C;
- c_p = calore specifico dell'aria a pressione costante 0,242 [kcal/kg °C];
- 860 = coefficiente di trasformazione 1 [kcal/h] = 1/860 [kW].

Considerando una temperatura interna di 40°C ed esterna di 30°C si ottiene:

$$Q [m^3/h] = 317 \cdot P [kW]$$

Il valore finale della portata deve essere maggiorato del 10% per tenere conto delle perdite di carico, si ottiene quindi:

$$Q [m^3/h] = 348,7 \cdot P [kW]$$

Per il locale trasformatori si è considerato in esercizio una potenza da dissipare pari a circa 7,18 kW ciascuno e pertanto la portata d'aria necessaria allo smaltimento del calore è pari a $Q=2504 \text{ m}^3/\text{h}$ per ciascun trasformatore.

Per quanto riguarda l'estrazione dell'aria nel locale quadri, si è considerato in esercizio una potenza da dissipare pari a circa 14,99 kW e pertanto la portata d'aria necessaria allo smaltimento del calore è pari a $Q=5227 \text{ m}^3/\text{h}$. In questo locale è inoltre installato un impianto di raffreddamento multi-split con potenza frigorifera pari a 10 kW.

Per quanto riguarda l'estrazione dell'aria nel locale gruppo elettrogeno, si è considerato in esercizio una potenza da dissipare pari a circa 18,26 kW e pertanto la portata d'aria necessaria allo smaltimento del calore è pari a $Q=6367 \text{ m}^3/\text{h}$.

Per quanto riguarda l'estrazione dell'aria nel locale contatori, si è considerato in esercizio una potenza da dissipare pari a circa 0,52 kW e pertanto la portata d'aria necessaria allo smaltimento del calore è pari a $Q=181 \text{ m}^3/\text{h}$.

7. ALLEGATI

7.1.1. ALLEGATO A – CALCOLO IMPIANTO VENTILAZIONE DI GALLERIA

In merito al metodo di calcolo dell'impianto di ventilazione della galleria di nuova realizzazione, si riportano i risultati di calcolo all'interno dell'allegato A.

ALLEGATO A

CALCOLO IMPIANTO VENTILAZIONE DI GALLERIA

RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI MECCANICI

Allegato A - Calcolo impianto ventilazione di galleria - Tabelle riepilogative dei dati e dei risultati

Dati geometrici e anagrafica	
Nome Galleria	Felettino I
Località	La Spezia
Numero di fornici	1
Lunghezza [m]	777,28
Sezione [mq]	83,8
Numero di corsie	2
Perimetro [m]	35,25
Diametro idraulico [m]	9,51
Pendenza [%]	3,29
Altezza media del tunnel [m]	8,1
Differenza di quota tra i portali [m]	25,6

Condizioni ambientali	
Altitudine media del tunnel [m s.l.m]	60
Temperatura dell'aria standard interna [°C]	15
Densità dell'aria [kg/m ³]	1,21
Pressione per effetto meteorologico [Pa]	30
Concentrazione CO ambiente [ppm]	5

Dati generali di calcolo	
Massa media dei veicoli pesanti [t]	23
% di Veicoli pesanti	29%
Veicoli PC a benzina (% sul totale dei veicoli PC)	50%
Veicoli PC Diesel (% sul totale dei veicoli PC)	50%
Fattore ora di punta [%]	12
Traffico di punta con traffico fluido [veh/h]	1163
Traffico di punta con traffico congestionato [veh/h]	538
PC benzina	1pcu
PC diesel	1pcu
HGV	2pcu (PIARC 2019, traffico fluido)
	3pcu (PIARC 2019, traffico congestionato o bloccato)

Concentrazioni limite degli inquinanti		
Concentrazione CO [ppm]		70
Coefficiente di attenuazione [10 ⁻³ m ⁻¹]	Traffico fluido	5
	Traffico congestionato-bloccato	7

RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI MECCANICI

Allegato A - Calcolo impianto ventilazione di galleria - Tabelle riepilogative dei dati e dei risultati

Condizioni di traffico considerate						
Velocità [km/h]	PC benzina		PC diesel		HGV	
	[veh/corsia h]	[veh/corsia km]	[veh/corsia h]	[veh/corsia km]	[veh/corsia h]	[veh/corsia km]
0	0	37	0	37	0	15
10	191	19	191	19	78	8
60	413	7	413	7	169	3

Felettino I						
Ventilazione sanitaria - condizioni di esercizio						
Bidirezionale	Fluidico		Congestionato		Bloccato	
Velocità Traffico [km/h]	60		10		0	
Portata [m ³ /s]	CO	Opacità	CO	Opacità	CO	Opacità
	3	8	3	7	2	4
Velocità aria richiesta [m/s]	0,10		0,08		0,05	
Perdite Galleria [Pa]	-0,02		-0,02		-0,01	
Perdite Pistone [Pa]	-0,60		-0,24		0,00	
Perdite Meteo [Pa]	-30,00		-30,00		-30,00	
Perdite Tot. [Pa]	30,62		30,26		30,01	
n° acceleratori minimi	4		4		4	

Dati acceleratori	
Tipo	Reversibile
Diametro girante [mm]	1000 mm interni
Spinta [N]	900
Portata d'aria [m ³ /s]	24,5
Velocità aria in uscita [m/s]	30,5
Velocità di rotazione [giri/min]	1450
Resistenza al fuoco	400°C 2h
Potenza motore nominale	27 kW
Materiale	acciaio inox AISI 316L
Vetustà	nuovo

RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTI MECCANICI

Allegato A - Calcolo impianto ventilazione di galleria - Tabelle riepilogative dei dati e dei risultati

<i>Installazione</i>	doppia fila in volta		
Felettino I			
Ventilazione in caso di incendio - 30MW			
<i>Velocità critica [m/s]</i>	3,51		
<i>Posizione incendio [%]</i>	25%	50%	75%
<i>Perdite Galleria [Pa]</i>	-27,3	-27,3	-27,3
<i>Perdite Pistone [Pa]</i>	-1,6	-3,1	-3,5
<i>Perdite Meteo [Pa]</i>	-30,0	-30,0	-30,0
<i>Perdite Effetto camino [Pa]</i>	0,0	0,0	0,0
<i>Perdite Tot. [Pa]</i>	58,9	60,4	60,8
<i>n° acceleratori minimi</i>	7,7	7,9	8,0
<i>(da calcolo)</i>			

Felettino I			
Ventilazione in caso di incendio - Analisi di sensitività a 100 MW			
<i>Velocità critica [m/s]</i>	4,18		
<i>Posizione incendio [%]</i>	25%	50%	75%
<i>Perdite Galleria [Pa]</i>	-38,8	-38,8	-38,8
<i>Perdite Pistone [Pa]</i>	-2,2	-4,4	-6,7
<i>Perdite Meteo [Pa]</i>	-30,0	-30,0	-30,0
<i>Perdite Effetto camino [Pa]</i>	0,0	0,0	0,0
<i>Perdite Tot. [Pa]</i>	71,0	73,2	75,5
<i>n° acceleratori minimi</i>	9,6	9,9	10,0
<i>(da calcolo)</i>			